This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
080.
10.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1876.

Digitized by Google

Digitized by Google

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1876.

PARIS,
AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES.

1876

Digitized by Google

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Dazzard fund

Digitized by Google

William Grosselesto
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

STATUTS (1).

Article Ier.

La Société française de Physique se propose de contribuer à l'avancement de la Physique par l'union des personnes qui aident aux progrès de cette science ou qui s'y intéressent.

Elle tient deux fois par mois des séances consacrées à l'exposé et à la discussion des travaux de Physique.

Elle met sous les yeux de ses membres les expériences les plus intéressantes et les plus nouvelles.

Elle publie un Bulletin qui est distribué gratuitement à tous ses membres.

Elle s'interdit toute discussion étrangère à la Physique.

Art. II.

La Société se compose de membres honoraires, de membres résidants et de membres non résidants.

Pour être élu membre de la Société, il faut être présenté par deux membres qui adressent une demande par écrit au président.

(1) Les Statuts sont reproduits, à cause des additions qui y ont été introduites cette année (dernier paragraphe de l'Art. III, dernier paragraphe de l'Art. IV, et Art. XI).

Digitized by Google

L'élection est mise à l'ordre du jour de la séance suivante, sauf opposition du Conseil. La nomination a lieu à la majorité des voix des membres présents.

Art. III.

Le titre de membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger. Les membres honoraires ont voix délibérative dans les séances, et une place d'honneur leur est réservée. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Le nombre en est fixé à six pour la première année, et il ne pourra ultérieurement en être nommé plus de deux chaque année.

Il sera de dix au plus.

Art. IV.

Les membres résidants payent un droit d'entrée de 10 francs et une cotisation annuelle de 20 francs.

Les membres non résidants ne payent pas de droit d'entrée, et leur cotisation est fixée à 10 francs.

Les membres résidants ou non résidants seront libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées, et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société.

Art. V.

Dans l'intérêt des membres non résidants, la Société, aux époques où un grand nombre de ces membres sont réunis à Paris, consa-

Digitized by Google

crera une ou plusieurs séances à répéter les principales expériences faites dans le courant de l'année.

Art. VI.

La Société est administrée par un bureau composé de : un président, un vice-président, un secrétaire général, un secrétaire, un vice-secrétaire et un archiviste-trésorier, et par un conseil composé de douze membres résidants et de douze membres non résidants. Le président du bureau préside la Société et le Conseil.

Art. VII.

Le bureau ne comprend que des membres résidants, et est nommé à la majorité absolue des voix des membres présents à la séance d'élection.

Le secrétaire général est spécialement chargé de régler, avec l'aide du secrétaire et du vice-secrétaire, l'organisation scientifique des séances. Il est nommé pour deux ans, ainsi que le trésorier : ils sont tous deux rééligibles.

Le vice-président et le vice-secrétaire d'une année deviennent président et secrétaire l'année suivante. Le président et le secrétaire sortant ne sont pas immédiatement rééligibles dans le bureau.

Art. VIII.

Le Conseil est nommé à l'élection par tous les membres de la Société, et renouvelé par tiers chaque année. Les membres sortant ne sont pas immédiatement rééligibles.

L'élection du Conseil, pour éviter double emploi, a lieu dans une séance postérieure à l'élection du bureau.

Digitized by Google

Art. IX.

Les comptes des recettes et dépenses sont présentés chaque année au Conseil par le trésorier, puis communiqués à la Société.

La Société, avant d'en voter l'approbation, désigne par scrutin trois membres étrangers au Conseil, qui en font l'examen et présentent leur Rapport dans la séance suivante.

Art. X.

La Société reçoit les dons qui sont de nature à faciliter ses travaux, et inscrit dans son Bulletin les noms des donateurs.

Art. XI.

Les statuts ne pourront être modifiés qu'après deux délibérations du Conseil. Les modifications proposées devront être annoncées un mois d'avance à la Société et seront mises aux voix à la séance générale de Pâques.

Digitized by Google

SÉANCE DU 7 JANVIER 1876.

PRÉSIDENCE DE MM. JAMIN ET QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 17 décembre 1875 est lu et adopté.

Au début de la séance on procède à l'élection du bureau, à la nomination des membres honoraires.

Le trésorier communique l'état financier de la Société et conclut en engageant les membres à recruter des adhérents. La Commission des comptes est nommée.

Après un discours prononcé par M. Jamin, M. Quet le remplace comme président.

Le bureau de l'année 1876 se trouve ainsi composé :

M. Quet, *Président;*
M. Becquerel (Edmond), *Vice-Président;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général;*
M. Gernez, *Secrétaire;*
M. Cazin, *Vice-Secrétaire;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

Ont été nommés, à l'unanimité, membres honoraires :

MM. Billet, R. P. Secchi, V. Regnault et W. Thomson.

Commission pour le contrôle des comptes de l'année 1875 :

MM. Deleuil,
Fernet,
Lechat.

Sont élus membres de la Société : MM. Warren de la Rue, de Londres; Louis Zegers, ingénieur des Mines du Chili.

La Société vote un article additionnel aux statuts :

Digitized by Google

Tous les membres de la Société résidants ou non résidants seront libérés de toute cotisation moyennant un versement de 200 francs. Les sommes versées sont placées et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société.

M. Duboscq présente à la Société un galvanomètre construit de manière à s'adapter à son appareil pour la projection des phénomènes qui se passent dans un plan horizontal.

M. Mouton communique ses recherches sur le courant induit. Il met en relation les deux extrémités du fil induit avec les quadrants d'un électromètre de Thomson et mesure, par la déviation de l'aiguille, la différence de potentiel électrique entre ces deux extrémités à des intervalles de temps croissant depuis l'instant de la rupture du courant. En prenant pour origine cet instant, pour abscisses les temps et pour ordonnées les déviations de l'aiguille, il trouve que, si les observations sont faites à des époques suffisamment rapprochées, les points déterminés sont sur une courbe continue et sinueuse; les sinuosités, qui interceptent d'abord sur l'axe des abscisses des longueurs décroissantes, le rencontrent ensuite à des distances sensiblement égales entre elles. L'interrupteur employé n'est autre que celui de Masson et Bréguet légèrement modifié, mis en mouvement par une machine de Gramme animée par 3 ou 4 éléments de Bunsen avec un régulateur particulier à force centrifuge.

La séance est levée à 10 heures.

Appareils pour la projection des corps placés horizontalement; par M. J. Duboscq.

Cet appareil, dont le premier modèle a été construit en 1866, et dont la disposition première est décrite tome I, p. 372 du *Journal de Physique,* sert à projeter tous les corps solides ou liquides qui ne peuvent affecter que la position horizontale et dont on veut montrer les formes extérieures.

A cet effet les rayons parallèles ou divergents de la source lumi-

Digitized by Google

neuse tombent sur un miroir M placé à 45 degrés (*fig.* 1 et 2) sur lequel ils se réfléchissent, traversent une lentille L ou condenseur qui les concentre sur un prisme à réflexion totale P qui les renvoie sur l'écran. Un objectif achromatique L′ projette agrandie l'image de l'objet placé sur le condenseur.

Fig. 1.

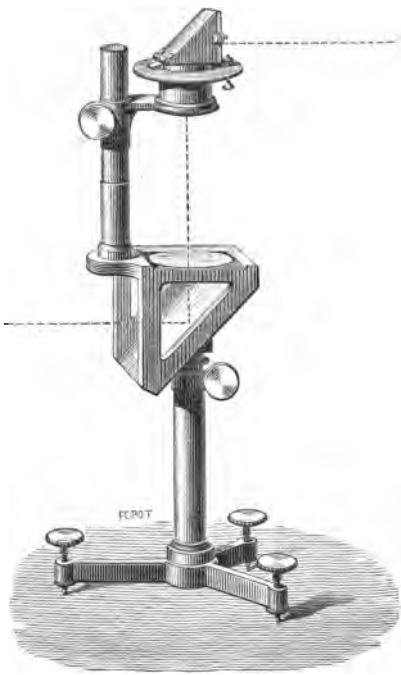
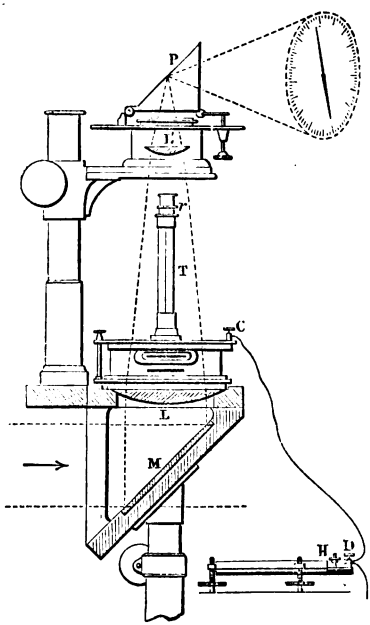


Fig. 2.



Comme exemple d'expériences que l'on peut montrer en projection à l'aide de cet appareil, nous citerons entre autres :

Phénomènes de magnétisme. — Pôles et ligne neutre d'un aimant, fantômes magnétiques, points conséquents, différence d'action des deux pôles, attraction ou répulsion ; magnétisme terrestre, déclinaison de l'aiguille aimantée, théorie de la boussole.

Phénomènes d'électricité. — Influence d'un courant sur une aiguille aimantée, expérience d'OErsted, théorie du galvanomètre, action des courants sur les courants, expérience d'Ampère.

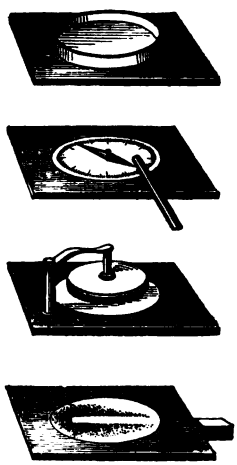
Digitized by Google

Phénomènes électromagnétiques. — Aimantation du fer doux, théorie des télégraphes, etc., etc.

Phénomènes électro-chimiques. — Décomposition de l'eau et des sels par le courant, dépôt de métaux, théorie de la galvanoplastie; combinaisons et réactions chimiques.

Phénomènes optiques. — Démonstration des impressions sur la rétine, mélange des couleurs, effets de contraste, couleurs accidentelles, etc., expériences décrites par Helmholtz et Plateau, recomposition de la lumière, disque de Newton.

Fig. 3.



Les divers appareils nécessaires à la réalisation de ces expériences se placent tous sur l'appareil à projection, ainsi qu'on le voit; ils se composent (*fig.* 2 et 3):

1° Lames de verre avec barreau aimanté, électro-aimant;

2° Cuve simple en verre pour recevoir les liquides; cuve semblable avec électrodes en platine;

3° Cadran divisé, sur verre muni d'une aiguille aimantée montée sur pivot;

4° Cuve à couronne avec système rotatif, expérience d'Ampère;

5° Toupie en verre avec série de disques en mica pour les phénomènes optiques.

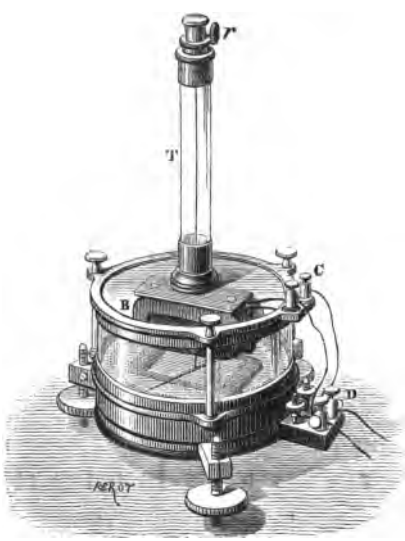
Digitized by Google

Galvanomètre transparent à projection;
par M. J. Duboscq.

Ayant souvent été témoin de la difficulté que l'on éprouve à faire constater à un nombreux auditoire les déviations de l'aiguille aimantée du galvanomètre, j'ai pensé à projeter sur un écran l'image du cercle gradué et de l'aiguille de cet instrument.

Le galvanomètre que je présente, en principe, ne diffère en rien des galvanomètres connus ; il est à gros fil et trouve son application immédiate dans l'étude de la chaleur rayonnante. On verra, dans la description succincte que j'en donne plus loin, que l'on peut diminuer sa sensibilité et l'appliquer à la démonstration de l'action des courants hydro-électriques sur l'aiguille aimantée.

Fig. 1.



Ce galvanomètre à projection, comme son nom l'indique, n'est pas un instrument de recherches : il est destiné à faciliter aux professeurs la démonstration, soit de la présence d'un courant, soit du rapport entre la force électromotrice d'une source électrique et l'angle de déviation du système astatique.

Digitized by Google

Il se compose essentiellement :

1° D'une cage circulaire en verre dans laquelle sont logés la bobine B et le système astatique (*fig.* 1); un cadran divisé sur glace forme le fond de cette cage; en regard des divisions se meut une aiguille d'aluminium fixée perpendiculairement au système astatique.

La cage est surmontée par un tube en verre T terminé à son extrémité supérieure par un petit treuil *r*, sur lequel est enroulé le fil de cocon qui supporte le système d'aiguille.

2° D'un support à vis calantes sur lequel se place l'instrument quand on veut s'en servir directement sans en projeter l'image. La partie supérieure de ce support est formée par une surface blanchie sur laquelle se détachent les divisions du cadran. La partie inférieure en caoutchouc durci supporte deux bornes D soudées à deux plaques de cuivre portant les lettres H, T, hydro-électriques, thermo-électriques; ces plaques sont traversées par des tiges isolées auxquelles sont soudés les fils de dérivation.

Veut-on projeter sur un écran les déviations de l'aiguille aimantée, il suffit de placer sur l'appareil vertical le galvanomètre (*voir* la *fig.* 2 de l'art. précédent), en reliant par de gros fils les bornes C de la bobine aux bornes D du pied ; ces dernières reçoivent toujours les fils de la pile.

Si la source électrique est faible, on laisse passer le courant directement, ce qui s'obtient en soulevant sur leurs tiges les boutons H, H ; si les courants sont plus intenses, on abaisse un des boutons H, de façon à le mettre en contact avec l'une des plaques métalliques du support, et à ne faire passer qu'un courant dérivé dans la bobine du galvanomètre.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 17 janvier est lu et adopté.

Le président donne lecture de deux lettres par lesquelles M. V. Regnault et M. Billet, nommés membres honoraires, présentent leurs remercîments à la Société.

Digitized by Google

Sont nommés membres de la Société : MM. d'Arlincourt, ingénieur électricien; Blondlot, attaché au laboratoire des Hautes Études de la Sorbonne; Meyer, ingénieur des télégraphes, et Sirvent professeur au collége Rollin.

Sont nommés membres du Conseil :

Membres résidants :	*Membres non résidants :*
MM. Berthelot.	MM. Duclaux, de Lyon.
Bertin.	Gripon, de Rennes.
Fizeau.	Andrews, de Belfast (Irlande).
Du Moncel.	Govi, de Turin.
Cornu.	Ternant, de Marseille.

M. F. Le Blanc fait connaître les procédés photométriques imaginés par MM. Dumas et Regnault et employés dans les bureaux du service municipal chargé de contrôler les qualités du gaz fourni par les usines de la Compagnie parisienne.

M. Marey donne la description d'un nouveau loch destiné à donner à un instant quelconque la vitesse de déplacement d'un navire par rapport au milieu liquide ambiant.

Méthode d'essai du pouvoir éclairant et de la bonne épuration du gaz à Paris; par M. F. Le Blanc.

Cette méthode pratique, proposée après des études suivies, par MM. Dumas et Regnault, a été adoptée pour vérifier la qualité du gaz fourni par la Compagnie parisienne. Le traité de la ville avec cette Compagnie oblige celle-ci à fournir un gaz présentant une pureté et un pouvoir éclairant déterminés.

Aujourd'hui, le gaz de houille livré, à Paris, par les sept usines de la Compagnie qui alimentent la capitale, est examiné, chaque soir, par les essayeurs du service municipal de Paris, dans onze bureaux ou chambres noires, réparties sur divers points.

D'après le traité de 1861, confirmé, à cet égard, par celui de 1870, la Compagnie doit fournir un gaz tel que, brûlé dans le bec réglementaire (c'est un bec d'Argand du système de Bengel), sous la pression de 2 ou 3 millimètres d'eau, il n'exige que 25 litres

Digitized by Google

ou $27^{lit},5$ de gaz, au maximum, pour être équivalent en pouvoir éclairant à celui d'une flamme de lampe Carcel, de dimensions réglementaires, et brûlant, pendant le même temps, 10 grammes d'huile de colza épurée (ce qui équivaut à une consommation de 42 grammes d'huile à l'heure). Au-dessus de cette limite de $27^{lit},5$, il y a déficit de pouvoir éclairant, et les conséquences en sont prévues par le cahier des charges.

MM. Dumas et Regnault, auteurs de la méthode d'essai que nous avons à décrire, avaient été amenés à définir de la manière suivante le système d'appareil de vérification qui devait satisfaire au but proposé :

Deux flammes d'égale intensité étant données, l'une produite par une lampe Carcel (brûlant dans des conditions fixées), l'autre par une lampe à gaz brûlant, autant que possible, dans les mêmes conditions, déterminer les consommations respectives d'huile et de gaz, dans un temps donné, par l'un et l'autre de ces appareils.

MM. Dumas et Regnault furent conduits à choisir comme bec *type*, pour le gaz, celui qui, par sa forme, se rapproche le plus de la lampe Carcel, brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée à l'heure, à fixer les flammes G et K (*fig.* 1 et 2) dans une position invariable, à la même distance du photomètre, de telle sorte que, leurs intensités étant maintenues égales, en modifiant la dépense du gaz, en conséquence, il n'y eût, en définitive, que deux éléments à déterminer, à la fin de l'expérience, savoir le nombre de grammes d'huile brûlée et le nombre de litres de gaz consommés pendant ce même temps. Ces deux quantités devaient représenter aussi des nombres équivalents, eu égard au pouvoir éclairant des deux flammes.

L'expérience est faite dans les conditions du maximum de pouvoir éclairant, c'est-à-dire que la combustion du gaz, au bec type, s'effectue à la pression de 2 à 3 millimètres d'eau. Le photomètre employé Vc (*fig.* 1 et 2) est le photomètre de Foucault [1], à plaques de verre amidonnées, auquel on a ajouté une lunette T (*fig.* 2), qui permet l'observation dans le sens de l'axe de l'instrument.

---

[1] Il fut imaginé par cet habile physicien pour examiner le pouvoir éclairant du gaz de la tourbe comparé à celui du gaz de la houille, à Paris.

Digitized by Google

Le gaz, avant de se rendre au bec K (*fig.* 1), passe par un excellent compteur de Brunt NS (*fig.* 2 et 3) qui permet d'évaluer la consommation dans un temps donné, à $\frac{1}{20}$ de litre près; il est muni d'un robinet très-sensible, qui permet de régler, à chaque instant, la dépense du gaz. L'observateur, placé dans le compartiment obscur, a l'œil au photomètre pour conserver à la flamme du gaz un pouvoir éclairant toujours égal à la flamme type de la Carcel servant d'unité de lumière. Il lui suffit, pour cela, de modifier la dépense du gaz à l'aide du robinet à tête circulaire

L'axe du compteur porte deux aiguilles, l'une pouvant être rendue fixe ou mobile à volonté, l'autre étant constamment en mouvement lorsque le gaz passe dans le compteur; un système de levier que l'on pousse permet de faire partager, à un moment donné, à l'aiguille fixe le mouvement de rotation de l'arbre du volant du compteur et détermine, simultanément, le départ des aiguilles des minutes et des secondes d'un petit compteur chronométrique O (*fig.* 2 et 3), implanté au-dessus du compteur à gaz.

Un bâti en fonte A, placé dans la chambre noire, derrière la cloison où est enchâssée la plaque C du photomètre (et où séjourne l'observateur dans l'obscurité), supporte à la fois le compteur à gaz, le bec de gaz E [1] et une balance particulière dont l'un des plateaux reçoit la lampe Carcel réglementaire G.

Cette balance, construite avec un succès complet par M. Deleuil, sur les indications fournies par MM. Dumas et Regnault, est représentée *fig.* 2 et 4; l'aiguille porte un *marteau automatique* E qui ne peut tomber qu'à la droite de l'observateur et indique avec une précision de 1 centigramme, pour une charge de 3 kilogrammes dans chaque plateau, le moment où la lampe, préalablement tarée, a consommé une quantité déterminée d'huile, dans un temps qui est accusé par la course des aiguilles du compteur chronométrique.

En effet, lorsque la lampe allumée a été équilibrée par sa tare dans le plateau opposé [2], une petite quantité d'huile venant à être brûlée, à partir de ce moment, l'équilibre est rompu; la chute

---

[1] Le gaz, brûlé par ce bec, ne passe pas par le compteur.

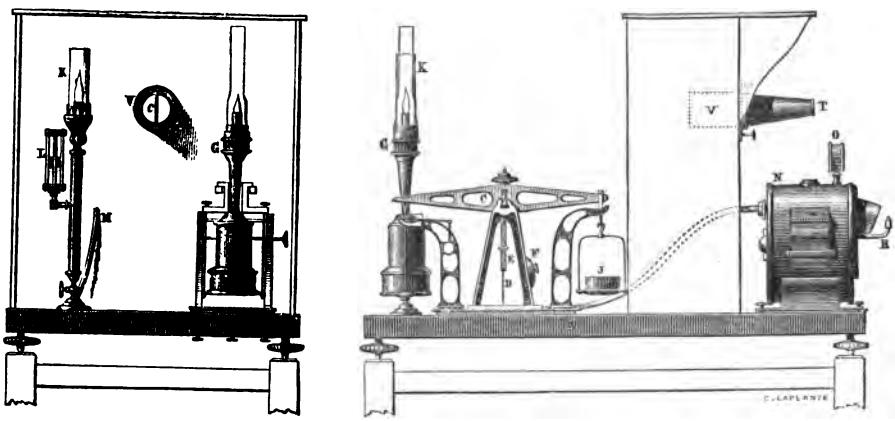
[2] On peut voir que la disposition est telle, que le fléau de la balance ne peut être influencé par la chaleur provenant de la combustion de la lampe.

Digitized by Google

du marteau sur le timbre F (*fig.* 4) indique que l'expérience commence. L'observateur, placé devant le photomètre et le compteur, met, immédiatement, en mouvement l'aiguille indicatrice du compteur à gaz, et, du même coup, les aiguilles du compte-secondes,

Fig. 1 à 4. — Appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault pour la vérification du pouvoir éclairant du gaz.

Fig. 1. **Fig. 2.**



Légende.— MK, bec à gaz type. L, manomètre à eau, indiquant la pression au bec. Le gaz venant du compteur arrive au bec par le tube M. La lampe Carcel G est placée sur l'un des plateaux de la balance CDEF. Dans l'autre plateau est la tare J. La *fig.* 4, à échelle amplifiée, indique la disposition du timbre F et du marteau *automatique* E, dépendant de l'aiguille du fléau C. Ce marteau, logé dans le creux de la partie supérieure de l'aiguille, ne peut se maintenir vertical (lorsqu'il a été relevé) que dans la situation verticale de l'aiguille; une goupille l'empêche de pouvoir tomber du côté opposé au timbre. Dès que le fléau s'incline à gauche, la tare devenant plus lourde que la lampe, le marteau ne peut conserver sa position d'équilibre instable; il tombe, le timbre résonne et l'opérateur est averti du moment de commencer ou de mettre fin à l'expérience. La balance CDEF est en fonte.

NS, compteur à gaz. O, chronomètre. R, bec-bougie à gaz, surmonté d'un capuchon à charnière, et qui sert à éclairer le cadran au moment de la lecture. *b*, tube amenant le gaz dans le compteur.

lesquelles étaient au zéro. Cela fait, on relève le marteau et l'on place du côté de la lampe G un poids de 10 grammes. Lorsque 10 grammes d'huile sont consommés, l'aiguille D de la balance trébuche (*fig.* 4), le marteau tombe sur le timbre F et avertit, par là, l'opérateur que l'expérience est terminée. Celui-ci pousse alors le

Digitized by Google

levier et arrête le mouvement de l'aiguille indicatrice du compteur à gaz et des aiguilles du chronomètre.

Le chemin parcouru par l'aiguille, sur le cadran du compteur à gaz, donne, en litres et fractions, la consommation pendant le temps accusé par le compte-secondes, ce qui permet, en même temps, de reconnaître si la combustion de l'huile s'est effectuée dans les conditions réglementaires.

Fig. 3.

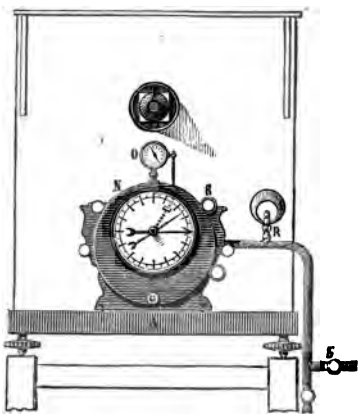
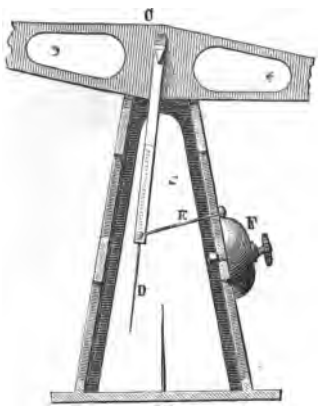


Fig. 4.



Il est bien entendu que l'observateur, placé dans la chambre noire, applique, de temps en temps, l'œil au photomètre et maintient identique le pouvoir éclairant des deux flammes. Il a pour cela, à sa portée, le robinet d'admission du gaz dans le compteur, robinet dont la sensibilité est telle, qu'elle permet de faire varier le débit du gaz de très-faibles quantités, en plus ou en moins, pour rendre le pouvoir éclairant de la flamme K égal à celui de la flamme G qui reste invariable pendant la durée d'un essai lorsque la lampe a été bien réglée, préalablement. (*Voir* la légende pour les *fig.* 1 à 4. Ces figures sont extraites du *Dictionnaire de Chimie* de M. Würtz, publié par la maison Hachette.)

Vérification de l'épuration. — Le gaz de l'éclairage devant, au terme du traité, être à l'épreuve de l'acétate de plomb, on vérifie sa qualité et l'absence d'acide sulfhydrique et de sulfhydrate d'ammoniaque avec l'appareil représenté ci-après (*fig.* 5).

Le gaz arrive dans la cloche en verre par les ouvertures d'un bec B, à trous du système Bengel lorsqu'on ouvre le robinet R. On le

Digitized by Google

fait écouler sous une pression de quelques millimètres d'eau, observée au manomètre M. Le gaz s'écoule au dehors par un tube communiquant avec la douille de la cloche. Une bande de papier *f*, préparée à l'acétate de plomb, est suspendue à une pince. Le gaz est débité à raison de 100 litres à l'heure, environ. Le papier doit rester entièrement blanc pendant un quart d'heure de passage du gaz.

A Londres, le gaz est soumis, de temps en temps, à des vérifica-

Fig. 5.

tions; un magistrat peut requérir un chimiste ou un ingénieur pour vérifier la qualité chimique du gaz et son pouvoir éclairant lorsqu'il survient une plainte émanant, soit de la municipalité, soit d'un consommateur privé. Il y a des gaz de diverses richesses ayant des canalisations spéciales.

Les expériences se font avec un bec d'Argand réglementaire à 15 trous et à cheminée de 7 pouces de hauteur. L'unité de lumière servant à la comparaison est celle d'une bougie type en blanc de

Digitized by Google

baleine; la consommation de gaz par le bec d'Argand, dans un temps donné, sous une pression déterminée, est fixée entre certaines limites pour équivaloir à un multiple de la lumière fournie par la bougie type.

Le photomètre le plus généralement employé en Angleterre, et en Allemagne également, est le *photomètre de Bunsen* ou *photomètre à tache*.

Il y a, à Londres, plusieurs gaz dont les qualités sont spécifiées par le traité uniforme imposé aux Compagnies. Brûlant sous le volume de 5 pieds cubes ou de 141 litres, à l'heure, le gaz doit fournir une lumière équivalente à celle de 12 bougies (gaz ordinaire, de Londres ou de Paris), de 20 bougies (gaz riche du *cannel-coal*), ou de 40 bougies (gaz de luxe, du *boghead*).

L'essai chimique est fait à l'aide du papier d'acétate de plomb et du papier rouge de tournesol. De plus, les traités imposent que le gaz ne doit pas contenir plus de 20 grains de soufre, sous quelque forme que ce soit, par 100 pieds cubes de gaz ($0^{gr},40$ par mètre cube).

L'opérateur qui vérifie le pouvoir éclairant du gaz doit toujours se placer, pour opérer, à une distance d'au moins mille *yards* de l'usine (1 kilomètre environ). Cette précaution est observée, aussi, à Paris.

Nous croyons que le système français de vérification du pouvoir éclairant du gaz est supérieur, en exactitude, au système précité, en raison de la plus grande sensibilité des moyens photométriques et de l'emploi d'une unité de lumière moins sujette à variations. Au surplus, la lampe à huile commence à être substituée, en Angleterre, à la bougie comme unité de lumière.

Description d'un loch à cadran indiquant à tout instant la vitesse d'un navire; par M. Marey.

Lorsque Pitot imagina de mesurer la vitesse d'un courant d'eau à l'aide du tube qui porte aujourd'hui son nom, il comprit que le problème était réversible et que le même appareil pouvait exprimer la vitesse avec laquelle on le transporte dans un liquide immobile.

Digitized by Google

Pitot indiqua donc expressément que son appareil peut servir à mesurer le sillage d'un navire. Darcy, en modifiant le tube de Pitot, montra que, sous sa forme primitive, cet instrument ne pouvait être utilement employé; il lui donna la disposition qui est généralement acceptée aujourd'hui par les ingénieurs hydrauliciens.

Deux tubes verticaux parallèles, t, t', sont coudés à angle droit à leur extrémité inférieure, comme dans la *fig.* 1, et ces branches coudées, a, a', s'ouvrent en sens inverse l'une de l'autre. Quand on plonge ces deux tubes dans une rivière, de façon que l'un d'eux présente son ouverture au courant de l'eau, l'autre s'ouvre par conséquent en sens opposé. Or, dans le premier tube, le niveau s'élève au-dessus de celui de la rivière, et cela d'autant plus que le courant est plus rapide. Le niveau de l'autre tube se tient au-dessous de celui de la rivière, d'une quantité égale à celle dont le premier s'est élevé. Cette disposition est celle que Pitot avait imaginée; elle est fort peu pratique, car le changement de niveau qui se produit dans les deux tubes se passe très-près de la rivière et exigerait, pour être apprécié, que l'œil de l'observateur fût placé à fleur d'eau. Darcy imagina de déplacer le lieu où se produit cette dénivellation et de l'amener, sous l'œil de l'observateur, à une hauteur commode. Pour cela, il réunit, par en haut, les branches verticales t_1, t'_1, des deux tubes en un tube unique T, et par cette branche unique exerce une aspiration sur les deux tubes de Pitot à la fois. L'eau s'élève dans ces deux colonnes jusqu'à la hauteur que l'on juge commode, et, en s'élevant, les niveaux conservent la différence qu'ils présentaient sous l'influence de la vitesse de la rivière.

Sous cette forme, l'instrument de Darcy pourrait servir à mesurer la vitesse d'un bateau, si les tubes traversant la coque plongeaient dans l'eau leurs extrémités coudées, pendant qu'à l'intérieur un observateur mesurerait, à chaque instant, la différence de leurs niveaux. Mais il faudrait supposer ce bateau dans des conditions à peu près irréalisables, glissant sans roulis ni tangage sur une eau dont aucune vague ne viendrait rider la surface. La moindre oscillation du bateau, se transmettant à l'instrument, imprimerait aux colonnes liquides une agitation qui rendrait la lecture impossible; ces oscillations auraient des périodes différentes

Digitized by Google

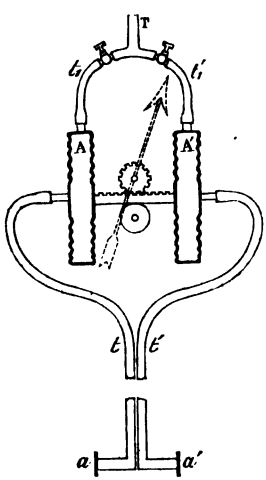
pour les deux colonnes, dont la longueur n'est pas égale; enfin les vagues, faisant sans cesse varier la pression de l'eau sur les tubes immergés, tiendraient leurs niveaux dans une agitation continuelle.

Le loch dont je propose l'emploi est en quelque sorte un appareil de Darcy, dépourvu d'oscillations et soustrait aux influences perturbatrices dont il vient d'être parlé; il n'accuse, en effet, que la différence des pressions qui existent dans les deux tubes de Pitot immergés.

Deux capsules, A, A′, semblables à celles des baromètres anéroïdes, mais remplies d'air, sont montées sur un même cadre métallique, parallèlement l'une à l'autre. Leurs faces qui se regardent sont réunies par une pièce de cuivre dentée en crémaillère à son bord supérieur, tandis que le bord inférieur est plat et court sur un galet. La crémaillère actionne un pignon dont l'axe porte une aiguille qui tourne sur un cadran diviseur.

Si l'on fait arriver une pression quelconque dans l'une des capsules manométriques, celle-ci se gonflera et poussera la crémaillère contre la capsule opposée; dans son transport latéral, la cré-

Fig. 1.



maillère fera tourner le pignon et par suite l'aiguille, qui marquera un certain nombre de degrés; mais, si l'on envoyait dans ces capsules deux pressions égales, ces efforts égaux et contraires se

Digitized by Google

neutraliseraient parfaitement, la crémaillère ne bougerait pas, l'aiguille resterait fixe sur le cadran. Cet instrument ne signale que des différences de pression entre les deux capsules; suivant le sens de la marche de son aiguille et le nombre de degrés parcourus, il indique le sens et la valeur de cette différence de pression.

Il s'agit d'envoyer dans ces capsules manométriques les pressions inégales que la vitesse d'un bateau crée dans deux tubes de Pitot immergés.

Le procédé de Darcy, c'est-à-dire l'aspiration, sert à faire arriver l'eau dans les deux capsules manométriques du loch. A cet effet, la partie supérieure de ces capsules porte un tube de caoutchouc de petit calibre, mais à parois épaisses, capable de résister à la pression atmosphérique, mais assez flexible pour ne pas gêner les mouvements de l'appareil. Ces tubes, réunis en T, servent à faire l'aspiration jusqu'à ce que l'appareil soit purgé d'air et rempli d'eau. On les ferme alors et l'instrument est prêt à fonctionner.

Placé sur une table, dans un bateau, cet instrument se montre indifférent aux influences perturbatrices qui feraient osciller l'appareil de Darcy. On peut enfoncer les tubes de Pitot à différentes profondeurs, leur imprimer de brusques mouvements verticaux de plongement sans que la position de l'aiguille varie. Au contraire, tout changement dans la vitesse s'accuse par une indication que l'on peut rendre aussi grande que l'on désire en sensibilisant l'instrument. Je n'ai pu jusqu'ici expérimenter cet appareil que sur un lac et sur la Seine, où j'obtenais, bien entendu, suivant le sens de la marche du bateau, des indications très-différentes, car un loch ne peut fournir que l'expression de la vitesse relative du bateau par rapport à l'eau; j'espère avoir l'occasion d'expérimenter en mer.

Le loch à cadran peut être transformé en appareil inscripteur qui fournirait la courbe des variations de la vitesse, et si, au moyen d'une disposition probablement facile à réaliser, on rendait les ordonnées de ces courbes proportionnelles aux vitesses, les aires mesurées au planimètre indiqueraient le chemin parcouru. Mais telle n'est pas, je pense, l'utilité que cet appareil présente. On a, paraît-il, d'autres lochs qui indiquent avec une précision suffisante le chemin parcouru, mais qui se prêtent difficilement à la mesure

Digitized by Google

rapide de la vitesse actuelle. En effet, jeter le loch, compter le temps, estimer les tours d'hélices ou les nœuds qu'on a filés, cela constitue une opération relativement longue, qu'on ne fait à bord que deux ou trois fois par jour, et qu'on ne saurait répéter à chaque instant pour contrôler les effets de telle ou telle manœuvre.

Imaginons, au contraire, que le commandant ait sous les yeux un cadran qui exprime la vitesse actuelle, il réglera aisément ses manœuvres d'après les effets mêmes qu'elles produisent sur la marche. Un voilier saura ce qu'il gagne ou ce qu'il perd en vitesse, suivant la quantité de toile qu'il déploie ou qu'il cargue. Dans les évolutions d'escadres, chaque navire pourra régler sa vitesse comme il le doit, d'après le rang qu'il occupe. Enfin, au moment de l'entrée au port ou de la sortie, un capitaine pourra contrôler sa vitesse et s'assurer qu'elle n'excède pas le degré que la prudence recommande. Qu'on me pardonne ces appréciations sur la valeur d'un instrument qui n'a pas encore fait ses preuves, elles ne m'appartiennent pas ; ce sont celles de plusieurs commandants de vaisseau, auxquels j'ai demandé si un indicateur continu de vitesse pourrait rendre des services, et qui m'ont dit qu'un pareil instrument serait fort utile pour la rapidité et la sécurité de la navigation.

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 21 janvier est lu et adopté.

M. William Thomson et le P. Secchi, nommés membres honoraires, et M. Ternant nommé membre du Conseil, adressent leurs remercîments à la Société.

Sont élus membres de la Société : MM. Jennesson, ancien principal à Xivry-le-Franc; l'abbé Lalance, curé de Xivry-le-Franc; Laporte, lieutenant au 3e bataillon de chasseurs à pied, au camp d'Avor ; Platzer, professeur de mathématiques.

Digitized by Google

M. Caspari fait une communication sur les spiraux des chronomètres.

M. Chautard communique à la Société les résultats de ses travaux sur le spectre d'absorption de la chlorophylle ; il répète ensuite ses expériences sur les modifications produites dans l'illumination des tubes contenant des gaz raréfiés, traversés par une décharge électrique quand on soumet ces gaz à l'action d'aimants puissants.

M. Cailletet présente un manomètre destiné à mesurer des pressions de plusieurs centaines d'atmosphères.

La séance est levée à 10 heures.

Sur l'isochronisme des spiraux de chronomètres;
par M. E. Caspari.

Le problème de l'isochronisme se pose dans plusieurs questions de Physique : nous ne rappellerons que les vibrations des diapasons. Mais, généralement, il peut se traiter par des méthodes approximatives, et pour des vibrations que l'on considère comme infiniment petites ; dès qu'on peut admettre la proportionnalité suffisamment exacte entre l'écartement d'un corps de sa position d'équilibre et la force qui tend à l'y ramener, le mouvement oscillatoire qui en résulte est isochrone.

Dans les chronomètres, le problème est plus compliqué. D'une part, un balancier de chronomètre exécute des oscillations très-étendues, jusqu'à 225 degrés de part et d'autre de sa position d'équilibre, et cette amplitude est sujette à varier considérablement, quand, sous l'influence de l'épaississement des huiles qui lubrifient les pivots du balancier et les pièces du rouage, les frottements des pivots augmentent en même temps que l'action du moteur diminue ; j'ai eu occasion d'observer des chronomètres dont les demi-amplitudes étaient réduites à 135 degrés au bout de trois ans de marche.

D'un autre côté, pour se faire une idée de la précision qu'on est en droit de demander aux montres marines, il suffit de se rappeler

Digitized by Google

qu'une erreur de quatre secondes sur l'heure du premier méridien équivaut à une erreur de 1 minute de longitude, soit, sous l'équateur, 1855 mètres. Il suffit donc que l'avance diurne d'un chronomètre, déterminée dans un port, ait varié d'une seconde pour qu'au bout de quarante jours de traversée ce chronomètre donne lieu à une erreur de 18 kilomètres sur la position du navire aux environs de l'équateur; et, si l'on réfléchit que cette erreur d'une seconde équivaut à une altération de la durée des battements égale à $\frac{1}{86400}$ de leur valeur, on comprendra aisément l'énorme précision recherchée par les horlogers.

Nous n'avons pas à nous occuper ici des dérangements de marche, dus aux variations de température, que l'on est arrivé à supprimer presque exactement par l'adaptation aux chronomètres des balanciers compensateurs, fondés sur les propriétés des lames bimétalliques sur lesquelles est basée la construction du thermomètre Bréguet. L'objet que j'avais d'abord en vue, c'était d'arriver à supprimer les altérations de marche dues aux causes énumérées plus haut, qui ont pour résultat de diminuer l'amplitude des excursions du balancier.

Pierre Leroy, le premier, a découvert cette propriété curieuse qu'il existe dans tout ressort spiral une longueur telle, qu'avec un balancier donné les grandes et les petites oscillations ont la même durée; mais les spiraux construits d'après cette règle ne se déforment pas régulièrement. M. Phillips a fait faire un pas décisif à la question en montrant que, si l'on donne aux extrémités du spiral certaines formes qu'il a appris à construire, on arrive à ce résultat que, quelle que soit la longueur totale du spiral, le moment de son action sur le balancier est proportionnel à l'angle dont celui-ci est écarté de sa position d'équilibre. Rappelons que le spiral du chronomètre de précision n'a pas la forme d'une spirale, mais celle d'un ressort à boudin. Mais cette proportionnalité n'a lieu qu'à l'état statique; dès que le régulateur est en mouvement, l'isochronisme rigoureux se trouve altéré :

1° Par l'influence de la masse du spiral;

2° Par les variations que subissent les dimensions du balancier sous l'action des forces d'inertie développées par la rotation.

C'est sur ce point qu'ont porté mes recherches. J'ai démontré, en complétant les équations du mouvement, que :

Digitized by Google

1° Par l'effet de l'inertie du spiral, la durée des oscillations est représentée par

$$T = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}}\left[\left(1 + \frac{\delta^2}{2} - \frac{\delta^4}{8}\right) + \frac{3}{4}\frac{\delta^2}{p^2}\alpha_0^2\right],$$

A étant le moment d'inertie du balancier, L la longueur du spiral et M son moment d'élasticité ; δ^2 le rapport de son moment d'inertie à celui du balancier, p le nombre de tours de l'hélice et α_0 l'amplitude des oscillations. En calculant la valeur numérique de la perturbation, on trouve que, si α_0 varie de $\frac{\pi}{2}$ à $\frac{3\pi}{2}$, on a un retard d'une seconde par jour avec les chronomètres du modèle de ceux construits par M. Winnerl ;

2° Que cet effet est exagéré encore par l'influence de la force centrifuge dans les modèles de balancier ordinairement employés ; mais qu'en tout état de cause, et quelle que soit la forme du balancier, les forces d'inertie tangentielles, tout en produisant une déformation, n'influent pas sur la durée des battements du chronomètre.

La discussion des formules montre que, pour des spiraux de même longueur et de même élasticité, la perturbation est proportionnelle à la quatrième puissance du rayon.

En expérimentant un chronomètre de M. Th. Leroy, pourvu successivement par l'artiste de deux spiraux en acier de même longueur, avec des amplitudes de 400 et 320 degrés, j'ai trouvé

Avec un spiral de	5,6 mm	de rayon	5s	par jour d'accélération des petits arcs
»	8,5	»	8s	»

La différence de trois secondes est due au changement de rayon des spiraux ; le reste de la perturbation doit être attribué à la force centrifuge.

La conclusion à tirer de là, c'est que, pour perfectionner les chronomètres, il faut :

1° Réduire légèrement le rayon des spiraux ;

2° Trouver un balancier moins déformable par l'action de la force centrifuge, tout en restant suffisamment déformable par la chaleur. — Ce dernier résultat me paraît atteint par le balancier

Digitized by Google

nouveau modèle, imaginé et exécuté par M. Winnerl, et que nous avons expérimenté avec succès au Dépôt de la Marine.

Cette question du chronomètre se rattache par un côté à la Physique pure, comme on va voir.

Si l'on construit un chronomètre ayant un balancier en laiton et un spiral en acier, on trouve que sa marche retarde de onze secondes pour chaque degré d'élévation de la température.

Or la durée des oscillations de ce chronomètre est à fort peu près donnée par la formule de M. Phillips

$$T = \pi \sqrt{\frac{AL}{M}},$$

dont on a expliqué plus haut les notations.

Si maintenant on calcule l'effet que produiraient les variations du moment d'inertie du balancier de laiton et celle de la longueur du spiral, pour un degré d'élévation de température, on trouve deux secondes de retard; restent donc neuf secondes de retard qui ne peuvent être attribuées qu'à la variation M, c'est-à-dire du moment d'élasticité du spiral. Or $M = EI$, E représentant le coefficient d'élasticité, et I le moment d'inertie de la section, la variation de I donne une seconde; donc il en reste dix pour la variation de E. Il est donc prouvé que le coefficient de variation de l'élasticité par l'action de la température est plus grand notablement que le coefficient de dilatation. On aurait même dans ces expériences un moyen de le calculer assez exactement pour l'acier trempé; la température diminue l'élasticité plus rapidement qu'elle n'augmente les dimensions. Soient γ le coefficient de dilatation de l'acier, γ' celui du laiton, x le coefficient de variation du coefficient d'élasticité; on a, pour deux températures différant de un degré,

$$T_0 = \pi \sqrt{\frac{AL}{EI}},$$

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{A(1+\gamma')^2 L(1+\gamma)}{E(1+x) I (1+\gamma)^2}} = \pi \sqrt{\frac{AL}{EI}} (1 + 2\gamma' - \gamma - x)^{\frac{1}{2}};$$

et, comme

$$T_1 - T_0 = T \frac{11^s}{1086400}, \quad \gamma = 0{,}0000185, \quad \gamma = 0{,}0000125, \quad T_0 = \frac{1^s}{4},$$

Digitized by Google

on trouve

$$x = -0,00023,$$

soit presque vingt fois le coefficient de dilatation.

On voit aussi quelle est la différence entre le balancier compensateur et le pendule ; ce dernier doit rester constant de longueur ; le balancier, au contraire, doit être construit de telle manière que son rayon de gyration diminue quand la température croît, et diminue quatre ou cinq fois plus que les dilatations dues à la même élévation de température ne feraient croître les dimensions d'un métal homogène.

Enfin on a ainsi l'explication d'une des causes d'insuccès des spiraux en or trempé, essayés à plusieurs reprises ; la densité de l'or étant deux fois et demie celle de l'acier, et son élasticité environ deux fois et demie moindre, les spiraux en or ont un moment d'inertie six fois plus grand que ceux en acier de même force ; la perturbation de ces derniers se trouve, par suite, multipliée par 6.

Action du magnétisme sur le spectre des gaz raréfiés illuminés par une décharge d'induction; par M. J. Chautard.

Dans le cours de ses études, relatives à l'action des aimants sur les décharges électriques dans les gaz raréfiés, M. Plücker a reconnu que, selon le sens de la décharge et de l'aimantation, le gaz illuminé est attiré ou repoussé par l'aimant, et que, de plus, la concentration du jet qui résulte de la même action est accompagné d'un changement de couleur. J'ai reconnu que le spectroscope permet, dans les mêmes circonstances, de déceler sur la lumière du gaz les modifications les plus curieuses et les plus inattendues. Cette étude demande une série d'essais, longs, délicats, qui ne peuvent être réalisés qu'à force de travail, de temps et de patience. Je me propose de résumer ici les principaux résultats auxquels je suis arrivé.

Les appareils employés pour contenir les gaz raréfiés ne sont autres que des tubes de Geissler, dont la partie longue et étranglée

Digitized by Google

est disposée entre les pôles d'un fort électro-aimant et perpendiculairement à ceux-ci. L'appareil que construit M. Ruhmkorff pour les expériences de diamagnétisme, animé par une pile de Bunsen d'au moins 15 éléments, convient bien dans la plupart des cas. Le spectroscope employé est celui de M. Duboscq, qui peut être muni à volonté de 1, de 2 ou de 3 prismes. Dans tous les cas, l'extrémité terminée par la fente doit être placée dans le voisinage du tube illuminé, presque au contact des pôles de l'aimant. L'étincelle peut être obtenue, soit à l'aide d'une bobine d'induction, soit à l'aide d'une machine de Holtz ou de Carré. Les divisions du micromètre, préalablement repérées sur les lignes de Fraunhofer, permettent de transformer immédiatement en longueur d'onde les couleurs correspondantes du spectre.

J'ai comparé des tubes de provenances les plus diverses : les uns ont été préparés par moi, d'autres par M. Alvergniat ou feu Séguy, constructeurs à Paris; enfin M. Ruhmkorff m'en a procuré qui venaient directement de M. Geissler. Voici la liste des substances que j'ai examinées :

Oxygène,	Acide carbonique,	Acide chlorhydrique,	Chlorure d'antimoine,
Hydrogène,	Oxyde de carbone,	» bromhydrique,	» de bismuth,
Azote,	Hydrogène bicarboné,	» sulfureux,	» de mercure,
Soufre,	» sulfuré,	Fluorure de silicium,	Protochlorure d'étain,
Sélénium,	» phosphoré,	» de bore,	Bichlorure d'étain.
Mercure,	Ammoniaque,	Chlorure de silicium,	
Chlore,	Cyanogène,	Bromure de silicium,	
Brome,	Protoxyde d'azote,		
Iode,			

J'arrive maintenant à l'analyse des principales particularités du phénomène, ainsi que des circonstances qui peuvent le modifier.

1° Dans les corps simples de la famille du chlore et les composés gazeux ou volatils qui en dérivent, l'action de l'aimant est immédiate et s'accuse, non-seulement par un changement de teinte du tube, mais surtout par une illumination plus complète des raies, qui apparaissent alors avec un éclat merveilleux, en se dédoublant quelquefois. Je citerai en particulier : le *chlore,* le *brome,* l'*iode,* les *chlorure, bromure* et *fluorure* de silicium, le *fluorure* de bore, les acides *chlorhydrique* et *bromhydrique,* le *protochlorure* et le *bichlorure* d'étain

Digitized by Google

2° La lumière de certaines substances, notamment celles du soufre et du sélénium, peut s'éteindre complétement au moment où l'aimant est animé.

3° L'éclat de la lumière de l'oxygène, assez pâle du reste, n'éprouve pas de modification bien sensible de la part de l'aimant. Il en est de même des composés du carbone, tels que : *acide carbonique, oxyde de carbone, hydrogène proto* et *bicarboné*.

4° Les belles bandes du spectre de l'azote ne subissent d'altération que dans la partie rouge et orangée. Ces couleurs s'éteignent à peu près complétement ou du moins sont remplacées par une teinte plate assez uniforme, dans laquelle toute trace de cannelure a disparu. Quant aux bandes de la partie la plus réfrangible, elles demeurent à peu près intactes.

5° Pour bien juger de l'action de l'aimant, il faut faire en sorte que le spectre, au début, n'ait pas un éclat considérable : aussitôt que le courant passe dans l'électro-aimant, on voit les raies dans toute leur splendeur. Je me suis servi dans toutes mes expériences d'une petite bobine (modèle de 100 francs) donnant des étincelles de $0^m,01$ à $0^m,015$ et amorcée à l'aide de 2 éléments Bunsen.

6° Les phénomènes sont les mêmes lorsque le courant induit est emprunté à une machine de Holtz ou à une bobine de Ruhmkorff.

7° Lorsque le tube a fonctionné pendant un certain temps, il subit une influence moins énergique de la part de l'aimant, effet que l'on peut attribuer, soit à l'élévation de la température, ainsi que cela a lieu avec l'hydrogène, soit à une modification chimique éprouvée par le gaz lui-même, comme cela arrive avec le cyanogène, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque et plusieurs autres.

8° La pression du gaz intervient dans l'action de l'aimant à tel point, qu'avec le même corps il est impossible, selon le cas, d'obtenir soit la cessation subite du courant induit, soit une modification notable dans l'apparence spectrale, soit enfin la permanence de la teinte primitive.

9° En variant la teinte du courant induit, on peut obtenir des effets analogues à ceux qui résultent de la variation de pression du gaz. En général, les modifications lumineuses magnétiques sont d'autant plus accentuées que la tension primitive est plus faible.

10° Le sens du courant induit, comme aussi celui de l'aimantation, donne des effets assez identiques. Cependant certains corps

Digitized by Google

semblent subir une influence plus énergique au moment où l'on renverse le courant.

11° La forme des armatures doit être considérée surtout au point de vue de la surface : celle-ci devra être plane et telle que le tube capillaire soit embrassé sur la plus grande partie de sa longueur.

12° Il est évident que les phénomènes seront d'autant plus nets que l'aimantation sera plus énergique. On la détermine ordinairement à l'aide d'une pile de 12 à 15 éléments Bunsen, grand modèle.

13° L'action de chaque pôle isolément est très-faible; ce n'est que sous l'influence simultanée des deux pôles que les phénomènes acquièrent leur maximum d'intensité.

14° Enfin l'action diminue rapidement avec la distance; on s'en assure en éloignant peu à peu le tube à un demi-centimètre environ des pôles; au delà de cette limite, l'influence de l'aimant cesse de se manifester.

Le fait sur lequel nous insisterons surtout est l'accroissement de résistance éprouvé par le courant induit sous l'influence de l'aimant. Cette résistance est quelquefois telle que le courant peut être subitement intercepté au moment où l'aimant entre en jeu. Lorsque le filet lumineux persiste, il subit dans le tube capillaire un rétrécissement qui peut quelquefois s'apercevoir à simple vue, surtout si, dans le cours de sa longueur, le tube n'offre pas partout le même diamètre : on observe dans la partie la plus large un spectre à bandes, ou même un spectre tout à fait continu, qui se transforme, sous l'influence de l'aimant, en un spectre linéaire analogue à celui que présente naturellement la partie la plus étroite du tube. C'est un résultat que j'ai vérifié avec le chlore, le brome, l'iode, l'hydrogène.

Cette augmentation de résistance, qui accompagne le rétrécissement du filet lumineux, produit une élévation de température, variable suivant la nature du gaz, qui modifie non-seulement l'aspect des raies, mais aussi quelquefois la nature chimique du corps raréfié, si ce corps est composé.

Ainsi le protochlorure d'étain cristallisé et sec, mais hydraté, offre un phénomène des plus remarquables de dissociation, sous l'influence de l'aimant. A l'état normal, le spectre est pâle et présente quelques-unes des raies vertes du chlore; mais, dès que l'aimant entre en jeu, on voit se dessiner deux des raies caractéristi-

Digitized by Google

ques de l'hydrogène, la rouge et la bleue, qui persistent tant que l'aimantation dure, qui disparaissent aussitôt qu'elle cesse, et cela pour ainsi dire indéfiniment. Je ne puis interpréter ce phénomène que par la séparation momentanée des éléments de l'eau du sel, sous l'empire de la résistance considérable opposée au passage du courant induit pendant la durée de l'aimantation.

Un autre exemple nous est fourni par le fluorure de silicium. Les tubes de Geissler, au fluorure de silicium, offrent un spectre qui se distingue par un certain nombre de bandes, dont les principales ont pour longueur d'onde, en millionièmes, 624, 618, 576, 565, 536, 528, 520, 503, 498. Au moment où l'aimant entre en jeu, toutes ces raies disparaissent, et le spectroscope n'en laisse plus apercevoir que trois autres, très-lumineuses et nouvelles : l'une, dans le rouge, dont la longueur correspond à 634; puis, dans le vert, une double raie, dont les ondulations coïncident avec une valeur de 509 et de 504. Si alors on interrompt le courant magnétique, ces diverses raies s'évanouissent. Ne serait-ce point là encore l'indice d'une réaction chimique nouvelle produite sous l'influence de l'aimant?

Avec les tubes à hydrogène, ainsi qu'avec quelques autres gaz, on voit quelquefois apparaître, lorsque l'électro-aimant est assez énergique, une raie jaune très-brillante, scintillant par place, et qui n'est autre chose que la raie du sodium provenant de la soude du verre. Si le verre du tube, au lieu d'être à base de soude, était à base de potasse, cette raie n'apparaîtrait pas, ce qui donne une preuve évidente de son origine.

Je ferai remarquer, en terminant, que chaque observateur, avant de calculer les résultats numériques de ses expériences, doit déterminer d'abord l'erreur qui lui est propre et que l'on peut appeler son *équation personnelle*. Il m'est arrivé, en effet, de faire faire, dans le cours d'une même séance, des observations par plusieurs personnes, familières cependant avec le maniement du spectroscope, et d'obtenir chaque fois des nombres différents. Toutefois cet écart, qui n'excède jamais 0° 30′ à 1 degré du micromètre, est, pour chaque individu, le même d'un nombre à un autre; aussi, dans le calcul définitif, est-il facile d'en tenir compte et de rendre tous les résultats comparables.

Digitized by Google

Quelques mots sur les raies de la chlorophylle et leurs applications, par M. J. Chautard.

I. *Caractères spectroscopiques des dissolutions de chlorophylle.* — La chlorophylle a de nombreux dissolvants, parmi lesquels on doit citer l'alcool, le chloroforme, l'éther, le sulfure de carbone, les huiles minérales, les essences végétales, les huiles grasses. On obtient facilement une solution concentrée en faisant macérer, à froid ou à une douce chaleur, des feuilles récemment cueillies et contusées, avec le liquide dont on a fait choix. Cette dissolution, filtrée et soumise au spectroscope, laisse apparaître dans le champ de l'instrument de magnifiques bandes noires dont la position, le nombre, la largeur, l'intensité, peuvent varier dans des limites assez étendues.

Les premières indications relatives à cet ordre de phénomènes remontent déjà assez loin et sont dues à Brewster qui, en 1834, annonça la présence d'une bande noire séparant le rouge du vert dans l'image spectrale de la chlorophylle.

Cette question est devenue, depuis cette époque, l'objet de nombreux Mémoires dont le plus important, et qui résume le mieux les faits connus jusqu'alors, est celui de M. G. Krauss, professeur à Erlangen, intitulé : *Zur Kennitniss der Chlorophyllfarbstoffe*, (brochure in-8°, Stuttgard, 1872). Ici, je serai sobre de détails, désirant me borner aux recherches qui me sont personnelles et qui se rattachent plus spécialement aux problèmes que j'ai eu l'intention d'étudier.

L'appareil qui convient le mieux pour ces sortes de recherches est le spectroscope à un prisme, de M. Duboscq, dont le micromètre est réglé de telle sorte, que la raie brillante de la soude coïncide avec le n° 40. Dans mes expériences, la raie A de Fraunhofer correspondait avec le n° 10, et la raie H avec la division 150. On obtenait un réglage à peu près identique en amenant la raie verte du thallium sur le n° 60. Partant de là, il sera toujours facile de rendre les observations comparables.

Comme source de lumière, je me suis très-bien trouvé d'une

Digitized by Google

lampe à gaz à double courant d'air, ou d'une lampe modérateur ordinaire. La distance de la source au spectroscope était d'environ 1 mètre, et la lumière était concentrée sur la fente de l'appareil à l'aide d'une lentille de 15 à 20 centimètres de foyer.

Les solutions à examiner peuvent être placées dans des tubes à essai, ou mieux dans de petites fioles dites *cols droits,* de divers diamètres, qu'il faut avoir soin de choisir sans stries ni bulles. On pose ces fioles sur une petite tablette devant la fente verticale du spectroscope, de manière que les rayons lumineux réfractés viennent converger sur l'ouverture de l'instrument. Toutefois, il est préférable de se servir de petites cuves rectangulaires plus longues que larges, à glaces parallèles, ou bien de petits flacons de même forme [1] offrant, suivant leurs dimensions opposées, des épaisseurs que l'on peut faire varier à volonté en obliquant plus ou moins la longue face de la cuve, ou du flacon, par rapport au rayon incident.

Dans le spectre d'une teinture alcoolique de chlorophylle convenablement diluée, on distingue six raies ou bandes sombres se détachant plus ou moins sur les couleurs voisines. L'une de ces bandes apparaît dans le rouge moyen, la seconde dans le rouge voisin de l'orangé, une autre entre le jaune et le vert, la quatrième au milieu du vert, et les deux autres dans le bleu. Ces dernières sont en général très-pâles et difficiles à discerner; il en est de même de la troisième, de telle sorte que, la plupart du temps, l'observateur n'a à tenir compte que des deux premières et de la quatrième. On comprend dès lors combien serait vague et incertain le caractère spectroscopique de la chlorophylle, si la réunion de toutes ces bandes était nécessaire pour préciser la substance. Il n'en est rien heureusement : la première bande suffit (toutes les autres sont celles que j'ai appelées *surnuméraires*), et constitue, pour la chlorophylle, une propriété spécifique dont je résume les qualités par les trois mots : *sensibilité, sûreté, généralité.*

1° Cette bande, en effet, peut varier de largeur, mais elle possède toujours une teinte foncée et des contours nets et bien dessinés,

---

[1] Ces petits flacons ont trois grandeurs différentes et ont été faits, sur mes indications, à la cristallerie de Baccarat. Ils sont très-commodes pour des observations de cette nature, et je ne saurais trop en recommander l'emploi.

Digitized by Google

elle ne s'écarte guère de 20 à 22 degrés du micromètre, réglé comme il a été dit. Elle apparaît encore lorsqu'on étend la dissolution, alors que toutes les autres bandes d'absorption ont depuis longtemps disparu. Je me suis assuré, à l'aide de dosages très-exacts, que de l'alcool contenant moins de $\frac{1}{10000}$ de chlorophylle laissait encore apercevoir cette bande dans le rouge d'une façon non équivoque et toujours à la même place. Les tubes en verre à obturateurs parallèles de l'appareil de polarisation de Biot sont d'un usage fort commode pour augmenter la longueur de la colonne liquide soumise aux rayons lumineux, et peuvent permettre à un œil exercé de reculer plus encore la limite que je viens d'assigner.

2° La seconde qualité de cette bande d'absorption, c'est-à-dire la *sûreté* de son indication, consiste dans le dédoublement dont elle est l'objet sous l'influence des alcalis (1).

On peut arriver à ce résultat, soit en faisant bouillir une dissolution alcoolique de chlorophylle avec un petit fragment de potasse, soit, et mieux encore, en traitant directement la matière verte des feuilles par de l'eau à l'ébullition contenant $\frac{1}{100}$ de potasse.

En reprenant par l'alcool les feuilles qui surnagent la dissolution aqueuse, on reconnaît, sur la teinture verte ainsi obtenue, un dédoublement très-net de la bande spécifique.

La réaction en question réussit à merveille, non-seulement avec des feuilles récemment cueillies, mais encore à l'aide de feuilles sèches, en un mot avec toute chlorophylle ayant subi l'action du temps, de l'air ou des acides, ou celle qui se trouverait accidentellement mélangée à divers produits. Si j'ajoute que ni les raies du sang, ni les raies de la bile, ni celles d'aucun liquide organique ne présentent des propriétés analogues, j'aurai suffisamment démontré la sûreté du caractère dont il s'agit ici.

3° En dernier lieu, j'ai dit qu'une troisième propriété de cette bande était sa *généralité,* c'est-à-dire qu'elle se retrouve toujours et partout où existe de la chlorophylle. En effet, le mélange d'une

(1) Le même dédoublement par les alcalis peut se produire à froid sous l'influence de la lumière et plus lentement dans l'obscurité. C'est à cette propriété que les olives doivent l'apparition d'une double raie noire dans le rouge lorsqu'on examine le spectre de leurs dissolutions alcooliques. On sait, en effet, que les olives destinées à l'usage de nos tables sont maintenues pendant quelque temps dans une saumure alcalinisée qui corrige la saveur amère et désagréable qu'elles ont naturellement.

Digitized by Google

ou plusieurs matières de couleurs différentes ne met nullement obstacle à l'apparition de la raie noire spécifique. C'est ainsi que les teintures jaunes de safran, de curcuma, qu'une solution rouge de fuchsine, que celle de tournesol, additionnées d'une certaine quantité de chlorophylle alcoolisée, laissent apparaître immédiatement, au milieu du rouge, le trait noir caractéristique de cette couleur, tandis que les bandes des autres couleurs peuvent être plus ou moins dissimulées.

Un mélange de deux dissolutions étendues, l'une de sang ou de bile, l'autre de chlorophylle, permet encore d'apercevoir, sans s'y méprendre, quelques-unes des raies spécifiques de ces différentes substances et d'en reconnaître les propriétés spéciales.

La chlorophylle, si facile à modifier au point de vue organique, quand on envisage les fonctions qu'elle est appelée à remplir dans le règne végétal, jouit, au contraire, d'une fixité remarquable, si l'on en considère seulement les propriétés spectroscopiques.

Sans doute, les agents d'oxydation, tels que l'ozone, l'eau oxygénée, le chlore, la détruisent immédiatement et sans retour. Les acides, au contraire, faibles ou concentrés, l'iode, le travail digestif, laissent aux bandes d'absorption et surtout à la raie spécifique une persistance et une netteté sur lesquelles je ne saurais trop insister.

Le mélange d'un sel métallique avec la chlorophylle permet encore d'apercevoir, pendant quelques instants, les raies caractéristiques de cette dernière, mais la liqueur ne tarde pas à se troubler, par suite de la précipitation de la chlorophylle, et, après filtration, le liquide ne donne plus de bandes.

Dissoute dans l'alcool, elle est, en très-peu d'instants, détruite par l'action de la lumière, tandis qu'en dissolution dans les huiles grasses ou minérales elle possède une inaltérabilité fort remarquable, dont il est facile de saisir l'importance pour l'explication de certains phénomènes de Physiologie végétale.

II. *États divers de la chlorophylle reconnus à l'aide du spectroscope.* — La chlorophylle se manifeste dans les végétaux sous divers états qui peuvent être parfaitement reconnus au spectroscope : sur les feuilles de récente formation ; sur les feuilles de dates plus anciennes, celles qui ont été séchées rapidement à l'ombre ; sur les

Digitized by Google

feuilles mortes détachées du végétal et qui ont subi l'action de l'air et de la lumière.

a. Sur les jeunes feuilles en voie d'épanouissement, l'instabilité des éléments de la chlorophylle est fort grande et se reconnaît à l'apparition de *bandes accidentelles temporaires* sous l'action d'une goutte d'acide chlorhydrique. Ces bandes très-fines, au nombre d'une ou deux, précèdent la raie spécifique dans la partie extrême du rouge et disparaissent au bout de fort peu de temps.

b. Dans le second cas, le même acide fait naître, au sein de la dissolution alcoolique, un tout autre système de bandes que je nomme *surnuméraires* ou *bandes accidentelles permanentes*. Elles sont au nombre de cinq : on les obtient bien isolées et fort belles à l'aide de la liqueur résultant de l'agitation de la teinture altérée avec l'essence de pétrole. Les deux dernières bandes, celles du bleu, seraient dues à la matière jaune de la chlorophylle, au *phylloxanthine;* les premières seraient produites par la *phyllocyanine*.

c. Dans la dissolution alcoolique de feuilles desséchées à la lumière, ou bien dans celles de chlorophylle fraîche qui ont subi à la longue une certaine altération, les bandes accidentelles permanentes, identiques à celles que nous venons d'indiquer, se présentent immédiatement sans intervention d'acide chlorhydrique.

La matière colorante qui accompagne la chlorophylle dans certaines plantes (*betterave rouge, noisetier rouge, hypericum perforatum*), peut masquer plus ou moins les raies surnuméraires indiquées plus haut, mais elle n'apporte aucun obstacle à l'apparition de la raie spécifique qui se montre toujours à sa place habituelle et avec les caractères qui lui sont propres. La teinture alcoolique d'*hypericum perforatum* donne une fort belle image constituée par la superposition de deux spectres, celui de la chlorophylle et celui de la matière résineuse rouge de la plante.

Un fait que je ne puis omettre de signaler est l'influence exercée par le dissolvant sur les apparences spectrales de la chlorophylle. C'est ainsi que, selon le degré de neutralité, d'acidité ou d'alcalinité de la dissolution, on obtient des spectres complétement distincts les uns des autres. J'ai reconnu, de plus, que les agents sulfurés (*sulfhydrate d'ammoniaque, sulfure de carbone*) exerçaient de leur côté une action très-sensible, mais parfois lente à se produire. Dans le rouge extrême, une bande surnuméraire très-fine et nettement

Digitized by Google

détachée de la bande spécifique, apparait à côté de cette dernière. Cette particularité doit être notée, eu égard aux applications dont la recherche de la chlorophylle peut être l'objet dans les matières excrémentitielles, ainsi que je vais l'indiquer.

III. *La chlorophylle dans les produits de la digestion. — Applications.* — Grâce à la sensibilité, à la sûreté et à la généralité du procédé spectral, j'ai pu retrouver aisément la chlorophylle dans les résidus de la digestion et m'assurer, par la simultanéité de ses divers caractères, qu'elle n'avait éprouvé ainsi d'autre altération que celle que le temps ou les acides lui font ordinairement subir.

On comprend dès lors tout le parti que le physiologiste ou le médecin devra, dans certains cas, tirer de phénomènes de cette nature.

La toxicologie, la médecine légale, pourront, elles aussi, invoquer les caractères optiques de la chlorophylle pour éclairer certaines questions avant que les forces chimiques n'interviennent et ne désorganisent les produits à analyser.

Un autre résultat, non moins intéressant, mérite également d'être signalé ici, c'est le fait du peu d'altérabilité de la chlorophylle soustraite à l'action de l'air et de l'humidité. Ainsi une teinture, obtenue avec des cantharides conservées depuis trente ans dans un droguier, offre des caractères optiques tout à fait analogues à ceux d'une liqueur préparée avec des cantharides récentes.

D'un autre côté, la lumière, dont l'action décolorante est si énergique sur les teintures alcooliques, ne produit qu'un effet très-lent et pour ainsi dire insensible sur les dissolutions huileuses de chlorophylle. Pour s'en convaincre, il suffit d'exposer au soleil, pendant quelques heures, deux flacons contenant, l'un de la teinture de belladone par exemple, l'autre de l'huile de la même plante : la première perd rapidement sa couleur, en même temps que ses propriétés spectrales; la seconde, au contraire, conserve sa teinte verte et continue à jouer le même rôle à l'égard du prisme. Ce fait est d'autant plus intéressant qu'il permet de se rendre compte comment la matière verte de certaines plantes à feuilles dites *persistantes* peut demeurer intacte dans l'arrière-saison, à la faveur des matières grasses ou résineuses contenues dans le tissu végétal.

Toutes ces recherches comporteraient bien d'autres détails, dans

Digitized by Google

lesquels je ne puis entrer ici et qui sont consignés dans une publication spéciale qui vient de recevoir sa troisième édition [1], le but de cette communication étant surtout de faire ressortir les utiles applications que l'on peut immédiatement et rigoureusement tirer de ces curieux phénomènes.

Nouveau manomètre destiné à mesurer les hautes pressions;
par M. L. Cailletet.

Dans les nombreuses recherches que j'ai faites sur les pressions élevées, j'ai pu constater combien l'exactitude des indications fournies par les divers manomètres que j'ai expérimentés laissait à désirer.

Dans l'impossibilité où j'étais d'établir un manomètre à air libre pour mesurer des pressions de 800 ou 900 atmosphères, ce qui aurait exigé un tube vertical de plus de 600 mètres, et ne pouvant me fier aux indications fournies par les manomètres dont je disposais, j'ai dû interrompre mes expériences sur la compressibilité des gaz, expériences qui exigeaient la détermination exacte des pressions auxquelles j'opérais. Mais, en étudiant récemment les déformations que subit un réservoir cylindrique en verre lorsqu'on le comprime sur ses parois extérieures, j'ai constaté que la diminution du volume de cette enveloppe est exactement proportionnelle à la pression exercée.

Les expériences que j'ai faites en employant des enveloppes de verre de diverse nature et que j'ai poussées jusqu'à l'écrasement du cylindre démontrent que la diminution du volume du réservoir reste proportionnelle à la pression, jusqu'à un point voisin de la rupture, et que de plus le verre ne subit pas de déformation permanente. Le manomètre qui fait l'objet de cette Note, et que j'emploie dans mes recherches actuelles, est basé sur les propriétés que je viens de rapporter. Sa construction est d'une grande simplicité.

---

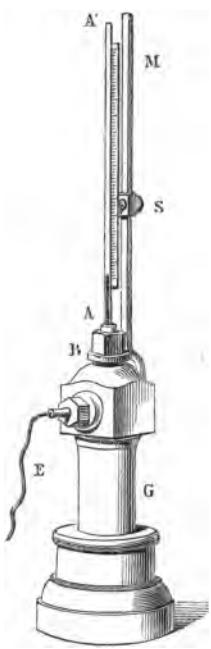
[1] J. Chautard, *les Spectres de la chlorophylle et leurs applications à la Chimie, à la Physiologie, à la Toxicologie.* 1 vol. in-8°, nouvelle édition refondue. Berger-Levrault, Nancy, 1875, 3 planches renfermant 16 spectres chromolithographiés.

Digitized by Google

Il se compose d'une sorte de thermomètre de verre (*fig.* 1), dont le réservoir cylindrique, fermé par des calottes sphériques, est rempli d'un liquide coloré quelconque ou mieux encore de mercure. Le tube capillaire AA′, exactement calibré, qui est soudé au réservoir, porte un renflement destiné à le fixer, au moyen de gutta-percha, dans un ajutage de cuivre. Ainsi disposé, cet ajutage ferme hermétiquement, au moyen de la vis B, l'orifice d'un tube d'acier G faisant fonction de réservoir et pouvant résister aux plus hautes pressions qu'on doit mesurer.

Le liquide envoyé par l'appareil compresseur arrive dans le réservoir G par le tube fin en cuivre E. Lorsque la pression s'exerce sur les parois du cylindre de verre, le liquide déplacé par la dimi-

Fig. 1.



nution du volume du réservoir s'élève dans le tube capillaire à des hauteurs correspondant à des pressions qui sont déterminées pour chaque appareil à l'aide d'une graduation préalable.

Digitized by Google

Il est indispensable de maintenir fixe la température de l'appareil pendant les expériences de longue durée. Cela est facile; on le plonge soit dans de la glace fondante, soit dans de l'eau à température constante. Dans les déterminations rapides, ces précautions sont même inutiles : il faut s'assurer seulement, avant de donner la pression, que le niveau du liquide dans le tube capillaire coïncide bien avec l'origine de la graduation de l'échelle divisée. Si la coïncidence n'était pas complète, on l'établirait en faisant glisser la règle sur la tige M, au moyen du bouton à vis S.

On comprend que la sensibilité des manomètres construits sur ce principe peut être aussi grande qu'on le désire, puisque, pour la faire varier, il suffit de modifier les rapports des dimensions du réservoir et du tube capillaire.

Grâce à l'obligeance de M. Mascart, j'ai pu comparer les indications de mon appareil avec celles du manomètre à air libre du Collége de France et m'assurer que le liquide déplacé par la diminution de l'enveloppe de verre s'élève à des hauteurs qui sont exactement proportionnelles aux pressions exercées sur ses parois. En effet, il doit en être ainsi, car si l'on prend pour abscisses les pressions et pour ordonnées les volumes du piézomètre, la compressibilité du verre étant très-petite, ce volume varie peu; de sorte que, pour des pressions p et p' très-différentes, les volumes v et v' diffèrent fort peu; par conséquent la courbe, quelle qu'elle soit, diffère très-peu d'une ligne droite. Il résulte de là que la diminution du volume du réservoir doit être proportionnelle à l'accroissement de la pression, et cela dans des limites très-étendues, *pourvu que le volume varie peu*. Cette démonstration, que je dois à M. Moutier, me semble à l'abri de toute critique et me fait espérer que le manomètre, très-simple, que je viens de décrire, pourra rendre de nombreux services à la Science et à l'Industrie.

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 4 février est lu et adopté.

Digitized by Google

Sont élus membres de la Société : MM. Mathew Gray, directeur de l'usine de l'Indian Rubber, gutta-percha et telegraph, Works C°, à Londres ; Robert Kay Gray, ingénieur de l'usine de l'Indian Rubber, gutta-percha et telegraph, Works C°, à Londres; John Muirhead, fabricant d'appareils électriques, à Londres; Pitanga Epifanio, professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro; Rameaux, professeur à la Faculté de Nancy; Roland, à l'Ile de la Réunion; Simonstre, professeur au grand séminaire de Nancy; Spottiswoode, vice-président de la Société Royale de Londres.

M. Cornu entretient la Société de la formation de réseaux qui, exposés à des ondes planes, produisent, par le concours de rayons diffractés, une ligne lumineuse de forme donnée plane ou gauche.

Pour qu'un système de fentes étroites exposées à une onde plane donne des ondes diffractées concourant en un foyer, il faut que la forme de ces fentes soit telle que les normales aux divers éléments passent par ce foyer, et de plus que les différences de marche soient égales à un nombre entier de longueurs d'ondulations. On déduit de là que la différence des carrés des distances mesurées de l'un des éléments au pied de la perpendiculaire abaissée du point focal à chaque élément est sensiblement constante. Il en résulte que le foyer n'est pas unique et qu'il y en a autant que de couleurs et aussi autant qu'il y a d'unités dans le nombre qui exprime en longueur d'onde la différence de marche.

L'auteur montre que, dans le cas où la source lumineuse est un point, le système de lignes précédemment défini donne lieu à un foyer conjugué, et il donne la règle générale pour obtenir un réseau donnant une ligne focale d'une forme déterminée et en fait l'application aux cas particuliers les plus intéressants.

Il fait remarquer que les anneaux colorés satisfont précisément à la condition nécessaire pour que les réseaux aient un foyer, et il en déduit un moyen très-simple de réaliser les réseaux en photographiant des systèmes d'anneaux colorés correspondants. Il montre que, grâce à l'épaisseur des anneaux colorés, les réseaux que l'on obtient en les photographiant n'ont qu'un seul système focal, et il fait voir comment on peut utiliser la détermination de la position de ce foyer dans l'étude des déformations des lames élastiques.

M. Mercadier fait connaître les recherches qu'il a entreprises

Digitized by Google

pour trouver une relation entre le nombre des vibrations produites par un diapason et les constantes caractéristiques de l'instrument. Les vibrations entretenues par un électro-aimant étaient enregistrées par un style sur un cylindre tournant.

M. Jamin présente à la Société des aimants primitivement identiques, dont l'un a été dissous dans un acide, de manière que son épaisseur soit réduite aux deux tiers de la valeur primitive, et qui a perdu ainsi la presque totalité de son magnétisme.

Il fait voir aussi un aimant trempé dans des conditions déterminées et qui résiste à l'action magnétisante des plus forts électro-aimants. Enfin il appelle l'attention de la Société sur les qualités de l'acier dont sont formés les aimants de Harlem.

Le conseil propose d'introduire les modifications suivantes aux statuts.

Article nouveau. — Les statuts ne pourront être modifiés qu'après deux délibérations du Conseil. Les modifications devront être annoncées un mois d'avance à la Société et seront votées à la séance générale de Pâques.

Ajouter a l'Art. 3. — Le nombre total des membres honoraires sera de dix au plus.

Sur les lois du mouvement vibratoire des diapasons; par M. A. Mercadier.

Je me suis occupé de l'étude des vibrations des diapasons en acier. Je leur donne une forme prismatique, c'est-à-dire une section rectangulaire constante, et je suppose que cette forme se continue même dans la partie courbe, où les branches parallèles sont raccordées par un demi-cylindre au milieu duquel se trouve la tige, forgée en même temps que les branches, et nullement rapportée après coup. J'appelle *épaisseur* de l'instrument la dimension parallèle aux vibrations et *largeur* la dimension qui leur est perpendiculaire.

Digitized by Google

I. *Variation de la largeur.* — On place un diapason sur un support muni d'un électro-aimant et d'un interrupteur destiné à entretenir électriquement les vibrations du diapason à l'état de régime permanent, et à côté d'un autre électro-aimant dont la palette, armée d'un style, reproduit les battements d'une horloge à secondes. On enregistre ces battements et les vibrations du diapason sur un cylindre tournant recouvert de papier enfumé. On obtient ainsi à $\frac{1}{1000}$ près au moins, ainsi que je l'ai montré précédemment (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVI, p. 1256), le nombre de périodes par seconde du diapason. On recommence l'expérience dans des conditions identiques, après avoir limé le diapason des deux côtés, en lui laissant partout une nouvelle largeur constante, et ainsi de suite.

Voici un exemple des résultats qu'on obtient en opérant ainsi :

Largeurs du diapason. . . .	35,3 mm	30,90 mm	24,8 mm
Nombres de périodes. . . .	144,7	144,7	144,9

On voit que la variation du nombre des périodes est insignifiante, bien qu'on ait diminué la largeur du tiers et réduit ainsi le poids de l'instrument de 1550 à 1100 grammes.

On peut donc en conclure, ce qu'il était naturel de penser, que *la variation de la largeur d'un diapason prismatique, toutes choses égales d'ailleurs, n'a pas d'influence sensible sur le nombre de ses vibrations.*

II. *Variation de l'épaisseur.* — Si l'on fait les mêmes expériences en diminuant successivement l'épaisseur sans toucher aux autres dimensions et en ayant bien soin que ces épaisseurs soient constantes en tous les points, on reconnaît que le nombre des vibrations change beaucoup.

Voici un tableau des résultats obtenus avec un diapason de 30 centimètres de longueur environ :

Épaisseurs	10,25 mm	9,25 mm	8,58 mm	7,70 mm	6,02 mm	4,37 mm
Nomb. de périodes.	87,98	81,18	74,32	67,43	54,88	40,00

Si l'on construit une courbe dont les abscisses représentent

Digitized by Google

les épaisseurs, et les ordonnées les nombres de périodes, en remarquant d'ailleurs que l'origine doit être un point de la courbe, on voit que cette courbe ne diffère pas sensiblement d'une ligne droite.

Donc *le nombre des vibrations d'un diapason prismatique est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à son épaisseur.*

III. *Variation de la longueur.*— Les deux branches d'un diapason ont des mouvements identiques : il ne s'agit donc que de la longueur d'une branche; mais comment définir cette longueur? Est-ce la projection l sur l'axe de l'instrument de la ligne médiane de la branche, ou bien sa longueur L *rectifiée?* J'ai considéré ces deux longueurs simultanément; j'ai déterminé pour chacune d'elles le produit de son carré par le nombre des périodes, en réduisant successivement un long diapason de 30 centimètres à 6 centimètres environ. Voici le tableau des résultats obtenus dans treize expériences consécutives :

Longueurs (l)	Nombre (n) de périodes par seconde.	nl^2	nL^2
mm 295,4	40,00	3485720	3767480
275,2	45,95	3480023	3782236
255,7	53,24	3481937	3806819
216,2	74,11	3464050	3847567
196,1	89,80	3453259	3877654
176,5	110,25	3434508	3904945
156,5	139,54	3417614	3947726
136,2	182,62	3387601	3994630
116,4	247,05	3350245	4057055
96,6	354,54	3308567	4158400
86,4	438,07	3274135	4219928
76,4	549,37	3231944	4293327
57,0	974,00	3142124	4570008

Il résulte de l'examen de ce tableau que les produits nl^2 et nL^2 ne sont pas constants; ils varient d'une manière continue : l'un décroît, l'autre croît; mais la variation de nL^2 est deux fois plus rapide que celle de nl^2. Considérons donc ce dernier.

Digitized by Google

On voit qu'on peut couper un tiers du diapason sans que l'erreur qui consiste à admettre que nl^2 est constant dépasse 0,01 : en coupant le second tiers, cette erreur n'arrive qu'à 0,03 environ; à partir de ce moment, elle arrive assez rapidement à 0,1; mais il faut considérer qu'alors, si l'on a en vue l'assimilation d'un diapason à une verge droite, l'influence de la partie courbe sur la partie droite augmente rapidement.

On peut déjà conclure de cela, au point de vue pratique, qu'un diapason étant donné, dépassant 10 centimètres de longueur, si l'on veut diminuer sa période d'une petite quantité, on peut parfaitement admettre que le nombre des vibrations varie en raison inverse du carré de la longueur, et calculer *a priori*, en conséquence, la longueur du diapason à couper pour obtenir la diminution de période que l'on veut.

Mais on peut chercher à diminuer cette restriction en augmentant en même temps l'approximation que donnerait cette loi. A cet effet, déterminons la longueur y qu'il faut ajouter à l pour que les deux produits $n(l+y)^2$, relatifs à la treizième et à la première expérience, soient égaux. Il suffit de poser

$$n'(l'+y)^2 = n(l+y)^2,$$

équation dans laquelle

$$n' = 974, \quad n = 40, \quad l' = 57,0, \quad l = 295,4.$$

En résolvant cette équation, on trouve $y = 3^{mm},8$. Ainsi il suffit d'ajouter à chaque valeur de l cette petite longueur de $3^{mm},8$, qui n'est que les 0,012 environ de la longueur totale du diapason, pour que les produits $n(l+y)^2$ soient constants; ils sont alors égaux à 3 576 040.

On peut conclure de ce qui précède que *le nombre des vibrations d'un diapason prismatique est, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse du carré de la longueur*, en prenant pour longueur la projection sur l'axe de la ligne médiane d'une branche augmentée d'une petite longueur auxiliaire, qui ne dépasse pas le 0,01 de la longueur totale, et qu'on peut négliger quand il s'agit de diapasons dont la longueur dépasse 12 à 15 centimètres.

On a donc, pour représenter les lois du mouvement des dia-

Digitized by Google

pasons prismatiques, la formule suivante, semblable à celle qui se rapporte au mouvement des verges élastiques droites :

$$n = k\frac{e}{(l+y)^2} \quad \text{ou} \quad n = k\frac{e}{(1,012\,l)^2},$$

n étant le nombre de périodes, e l'épaisseur, l et y les longueurs précédemment indiquées, k une constante qu'on peut déterminer à l'aide d'une expérience quelconque.

Pour les diapasons en acier, j'ai trouvé $k = 818270$.

Le coefficient qui affecte la valeur de l est purement empirique. Il paraît difficile de le déterminer autrement que par l'expérience. On ne doit pas s'attendre d'ailleurs à obtenir dans les applications de la formule une grande précision, en songeant à la complexité du système représenté par un diapason, aux différences que peuvent présenter deux diapasons en apparence identiques, par suite des différences dans la qualité de l'acier, dans la façon dont ils sont recourbés, forgés, trempés. On ne s'étonnera donc pas de trouver, entre les valeurs de n observées et les valeurs calculées d'après la formule ci-dessus, des divergences sensibles.

Voici les résultats obtenus pour trois diapasons d'épaisseurs et de largeurs différentes :

DIAPASONS.	e	$1,012\,l$	n calculé.	n observé.	DIFFÉRENCES.	ERREURS relatives moyennes.
	mm	mm				
N° 1.....	10,2	238,73	146,4	144,7	— 1,7	0,011
N° 2.....	7,0	269,2	79,0	77,7	— 1,3	0,016
N° 3.....	3,75	325,5	29,0	29,7	+ 0,7	0,023

Il y a là des erreurs relatives, variant de 1 à 2 pour 100, qui ne paraîtront pas considérables, je pense, si l'on a égard aux observations précédentes, et qui, d'ailleurs, n'ont pas d'importance au point de vue pratique de la construction des diapasons. En ce cas, en effet, il suffit parfaitement de pouvoir calculer *a priori* les dimensions à donner à un instrument pour qu'il ait, à 1 ou 2 pour 100 près, le nombre de périodes par seconde que l'on veut.

Digitized by Google

IV. Pour comparer les résultats ainsi obtenus expérimentalement à ceux que peut donner la théorie mathématique de l'élasticité, considérons une verge prismatique droite de longueur l et d'épaisseur ε. La théorie donne, pour le nombre n' de vibrations d'un pareil corps,

$$n' = \frac{\lambda a \varepsilon}{2\pi\sqrt{3}\,l^2},$$

a étant la vitesse du son dans la lame élastique considérée et λ étant une racine positive de l'équation

$$(e^{ml} + e^{-ml}) \cos ml + 2 = 0,$$

les valeurs diverses de ml correspondant aux harmoniques successifs de la lame. En résolvant cette équation par approximations successives, on trouve [1], pour la valeur de la première racine relative au son fondamental,

$$\lambda = 1,87011.$$

On en conclut

$$n' = \frac{(1,87011)^2 a \varepsilon}{2\pi\sqrt{3}\,l^2},$$

et, pour la valeur du coefficient k mentionné ci-dessus,

$$k = \frac{(1,87011)^2 a}{2\pi\sqrt{3}}.$$

Mais, pour appliquer ces formules au cas d'un diapason, l doit être remplacé par $1,012\,l$ et par suite λ par $1,012\,\lambda$, c'est-à-dire $1,89255$.

De plus, n' représente le nombre de *vibrations* de la verge par seconde; pour avoir le nombre de *périodes* n que nous avons considéré, il faut prendre la moitié des valeurs précédentes.

Il en résulte définitivement

$$k = \frac{(1,89255)^2 a}{2\pi\sqrt{3}}, \quad n = k\,\frac{1}{2}\,\frac{\varepsilon}{(1,012\,l)^2}.$$

---

(1) Poisson, *Mécanique*, t. II, p. 390.

Digitized by Google

En prenant pour la vitesse du son dans l'acier le nombre donné par Wertheim et se reportant à la valeur ci-dessus de k déduite de l'expérience, on a

$$a = 4985^{m}, \quad k \begin{cases} \text{calculé} \ldots\ldots & 820131 \\ \text{observé} \ldots\ldots & 818270 \end{cases}.$$

Différence entre les deux valeurs, 1861; erreur relative moyenne, $\frac{1861}{819200} = 0{,}002$ environ.

La concordance est donc complète entre les résultats de l'observation et ceux de la théorie.

V. *Variation de l'amplitude.* — Lorsqu'on veut employer un diapason entretenu électriquement à produire des interruptions de courants parfaitement égales, ou à exécuter un petit travail mécanique, ou enfin à produire des figures acoustiques qu'on veut projeter, on est forcé de lui donner d'assez grandes amplitudes. Il y a lieu de se demander alors si l'*isochronisme* des vibrations que suppose la formule mathématique et que j'ai démontré expérimentalement (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVI, p. 1256), quand on ne dépasse pas 2 ou 3 millimètres d'amplitude, existe encore.

On peut employer trois procédés pour faire cette étude.

1° Le premier procédé consiste à donner à l'électrodiapason en expérience des amplitudes de moins en moins grandes, en maintenant chacune d'elles constante pendant dix ou vingt secondes. On enregistre chaque fois les vibrations sur le cylindre tournant, ainsi que les battements de la palette de l'électro-aimant qui bat la seconde.

D'ailleurs, pour pouvoir mesurer facilement et exactement l'amplitude, on ralentit le mouvement du cylindre au commencement et à la fin de l'expérience, afin que le style du diapason décrive une courbe à spires si serrées qu'elles ressemblent à des hachures contiguës.

Parmi les nombreuses séries d'expériences que j'ai faites, je donnerai comme type le tableau suivant; tous les autres donnent des résultats analogues :

Digitized by Google

Amplitudes.....	mm 9,0	mm 5,6	mm 5,2	mm 4,6	mm 2,6	mm 1,5
Nombre de périodes par seconde.....	27,89	27,91	27,915	27,92	27,92	27,92

On voit nettement par ce tableau que le nombre de périodes augmente pendant que l'amplitude décroît depuis 9 millimètres jusque vers 5 millimètres ou $4^{mm},5$; à partir de ce moment, ce nombre se maintient constant. La variation est très-faible : elle ne porte que sur le quatrième chiffre. Elle s'élève au maximum à 0,03; en la rapportant à la moyenne des valeurs extrêmes 27, 89 et 27, 92, on obtient $\frac{0,03}{27,90}$ ou $\frac{3}{2790} = \frac{1}{930}$, variation très-petite, mais néanmoins incontestable.

2° Le second procédé expérimental consiste à donner au diapason l'amplitude maximum possible, puis à supprimer brusquement l'entretien électrique du mouvement en interrompant le courant de la pile. Le diapason vibre alors uniquement en vertu de son élasticité; son amplitude décroît graduellement depuis la valeur maximum qu'on lui a donnée jusqu'à zéro.

On mesure sur les graphiques les nombres de vibrations par seconde correspondant à 2, 4, 6,..., 10,..., 20,... secondes successives. Si la grandeur de l'amplitude n'avait pas d'influence sur la durée de la période, tous les nombres ainsi obtenus devraient être égaux. Or il n'en est rien; ils sont graduellement croissants jusqu'à une certaine limite, ainsi que le montre la série suivante, prise comme exemple :

Nombre de secondes....	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Nombre de périodes par seconde.....	27,82	27,825	27,83	27,83	27,83	27,83	27,83	27,835	27,833	27,835
Nombre de secondes....	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Nombre de périodes par seconde.....	27,835	27,833	27,835	27,84	27,84	27,84	27,84	27,84	27,84	27,84

Digitized by Google

On a ici une variation du nombre de périodes de même sens que celle que le tableau précédent met en évidence. Elle est de $\frac{2}{2780} = \frac{1}{1390}$ environ, plus petite que la précédente, mais l'amplitude au départ était aussi plus petite, $7^{mm},50$. On voit encore que le nombre de périodes tend vers une limite constante, qui est ici 27,84, et qui est atteinte dès que l'amplitude arrive à 3 millimètres environ.

3° Enfin on peut employer un procédé optique qui consiste à produire avec deux diapasons semblables armés de miroirs une figure acoustique, l'ellipse qui caractérise l'unisson par exemple. On les désaccorde légèrement, de façon que l'ellipse se déforme graduellement en passant par toutes ses variétés successives. Appelons *durée de la période de déformation* le temps mis par la courbe à repasser dans le même sens par l'une de ses variétés, par exemple par l'une des diagonales du rectangle circonscrit.

On pointe électriquement sur un cylindre tournant tous les passages de la courbe à cette diagonale, de façon à pouvoir ensuite relever sur le graphique les durées de chaque période de déformation.

Cela posé, maintenant constante l'amplitude de l'un des diapasons, on donne à l'autre une amplitude aussi grande que possible et on la laisse ensuite décroître graduellement.

Si l'amplitude n'avait pas d'influence sur l'isochronisme, la durée des périodes de déformation devrait rester constante. Le tableau suivant, qui est le relevé d'une expérience, montre qu'il n'en est rien : l'amplitude y a varié de 8 millimètres à zéro.

Nos des périodes de déformation.....	1re	2e	3e	4e	5e	...	12e	...	15e	...
Durée de ces périodes en secondes.....	5,54	5,55	5,54	5,55	5,55	...	5,56	...	5,58	...

De la quinzième période à la cinquantième, la durée reste égale à $5^s,58$.

Cette méthode d'observation conduit donc au même résultat que les précédentes.

Digitized by Google

On doit donc conclure de ce qui précède : 1° *que la durée de la période du mouvement vibratoire des diapasons augmente ou diminue avec l'amplitude;* 2° *que cette variation, même par des amplitudes considérables de* 1 *centimètre, est très-faible et ne porte que sur le quatrième chiffre;* 3° *que, si l'on ne dépasse pas une certaine limite qu'on peut fixer à* 4 *millimètres, on peut regarder la durée de la période comme constante.*

Cette dernière loi vient donc confirmer la conclusion pratique que j'avais déduite d'études précédentes.

La théorie mathématique de l'élasticité indique que les vibrations d'un diapason doivent être *isochrones;* mais les résultats ci-dessus ne sont qu'en apparence en contradiction avec les indications de la théorie. En effet, la théorie repose sur deux hypothèses : on admet : 1° *que les vibrations sont rectilignes;* 2° *que leur amplitude est très-petite.* Or, si ces deux hypothèses peuvent être regardées comme très-suffisamment satisfaites quand l'amplitude ne dépasse pas 3 ou 4 millimètres, il n'en est pas de même évidemment quand elle dépasse cette limite, et surtout quand on arrive à des amplitudes de 7, 8, 9, 10 millimètres. Le désaccord, si faible d'ailleurs, entre l'expérience et la théorie n'est plus alors étonnant : c'est le contraire qui le serait.

VI. *Influence de la température sur la durée de la période.* — On a vu plus haut que le nombre de périodes par seconde d'un diapason dont la longueur dépasse 13 centimètres était représenté par la formule suivante, identique à celle que fournit la théorie de l'élasticité par les tiges élastiques :

$$n = k\frac{\varepsilon}{l^2}.$$

En remplaçant la vitesse du son a par $\sqrt{\frac{q}{d}}$, k, quantité constante pour un même diapason, est représentée par

$$k = \frac{(1,89255)^2\sqrt{q}}{2\pi\sqrt{3}\sqrt{d}},$$

q étant le coefficient d'élasticité de l'acier et d sa densité; de telle

Digitized by Google

sorte que la valeur définitive de n est

$$n = \frac{1}{2} \frac{(1,892255)^2 \sqrt{q}}{2\pi \sqrt{3} \sqrt{d}} \frac{\varepsilon}{l^2}.$$

Lorsque la température de l'instrument varie, les dimensions ε et l de l'instrument varient suivant les lois connues de la dilatation : il en est de même de la densité d. Le coefficient d'élasticité q varie aussi, mais la loi de cette variation n'est pas connue ; on n'a sur ce sujet, au point de vue expérimental, que des expériences de Wertheim qui manquent certainement de précision et auxquelles on ne peut se fier sans réserve.

Dans ces conditions, je me suis d'abord occupé de chercher expérimentalement l'influence approximative de la température.

J'ai exposé un diapason dans une chambre ouverte, à une température assez basse ; j'ai ensuite fermé la chambre et l'ai chauffée graduellement, en inscrivant de temps en temps pendant dix secondes les vibrations de l'instrument, à une température constante indiquée par un bon thermomètre appliqué à l'une des branches.

Voici, par exemple, les résultats de quatre mesures :

Températures.....	3°,5	10°,0	18°,0	26°,0
Nombre de périodes par sec.	27,90	27,89	27,86	27,84

Ainsi le nombre des périodes décroît à mesure que la température s'élève.

La variation est faible ; elle ne porte que sur le quatrième chiffre, comme celle qui résulte de la variation d'amplitude.

En admettant que le coefficient d'élasticité ne change pas avec la température, en se rappelant que l'épaisseur ε et la longueur l d'un diapason varient proportionnellement au binôme de dilatation linéaire de l'acier $(1 + \lambda t)$, que la densité d varie en raison inverse du binôme de dilatation cubique $(1 + \alpha t)$, et en exprimant que $\alpha = 3\lambda$, on peut calculer le rapport $\frac{n'}{n''}$ des nombres de périodes du diapason à deux températures t' et t''.

Digitized by Google

On trouve ainsi, toutes simplifications faites, en négligeant des termes qui contiennent λ^2,

$$n' = n''\left[1 + \tfrac{1}{2}\lambda(t'' - t')\right].$$

Cette formule montre bien que le nombre n', qui correspond à la température la plus basse, est plus grand que celui n'', qui correspond à la température la plus élevée, conformément à l'expérience.

Mais, si l'on fait le calcul pour les températures $t' = 3^\circ,5$, $t'' = 26^\circ$, en prenant pour λ la moyenne des valeurs trouvées par divers observateurs pour l'acier, et rapportées dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, $\lambda = 0,000011268$, on trouve que, si $n'' = 27,84$, valeur donnée par l'expérience,

$$n' = 27,84 \times 1,000141 = 27,8439\ldots,$$

de telle sorte que le quatrième chiffre n'est pas altéré.

La conclusion remarquable qui paraît ressortir de là, c'est que la variation dans le nombre de périodes qui se produit quand on fait varier la température est principalement due à l'influence de la température sur le coefficient d'élasticité que nous avions supposé constant dans les calculs ci-dessus.

RÉSUMÉ.

Il résulte de cette étude de l'influence de l'amplitude et de la température sur le mouvement vibratoire d'un diapason les conséquences suivantes :

L'isochronisme des vibrations d'un diapason n'est pas absolument rigoureux; la durée de sa période dépend de l'amplitude et de la température.

Au point de vue pratique de l'emploi d'un diapason comme chronographe ou interrupteur, *un instrument ne donnera des résultats absolument identiques à des époques différentes que si l'on opère à la même température, et si l'on donne aux vibrations la même amplitude.*

Si l'on n'a pas besoin d'une identité complète, et de grandes amplitudes, ce qui est le cas le plus ordinaire, *pourvu qu'on ne*

Digitized by Google

dépasse pas une amplitude de 3 à 4 millimètres et qu'on opère à des températures peu différentes, on est certain d'avoir le même nombre de périodes par seconde à 0,0001 près.

SÉANCE DU 3 MARS 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 février est lu et adopté.

Est élu membre de la Société : M. Ploix (Charles), ingénieur hydrographe de la Marine.

M. Jannettaz fait connaître les résultats de ses recherches sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés. Il a appliqué le procédé de Senarmont à l'étude d'un certain nombre de cristaux et particulièrement à l'étude des roches.

M. H. Becquerel décrit les expériences qu'il a entreprises pour découvrir une relation entre le pouvoir rotatoire magnétique des diverses substances et leur indice de réfraction.

La séance est levée à 10 heures un quart.

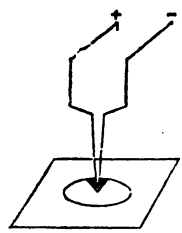
De la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés; par M. Jannettaz.

1. Pour étudier la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés, j'ai employé la méthode de de Senarmont; mais, au lieu de percer d'un trou les corps soumis à l'observation, et de les échauffer au moyen d'une tige introduite dans ce trou, comme le faisait de Senarmont, j'applique à leur surface une petite sphère ou un petit cône tronqué de platine (*fig.* 1), auquel sont soudés deux fils fins de platine, mis eux-mêmes en communication avec les pôles d'une pile formée de 3 éléments à section rectangulaire.

Digitized by Google

La surface du corps a été, comme dans le procédé de de Senarmont, recouverte d'une matière fusible. En général, je préfère le saindoux fondu et passé au travers d'un linge fin ; ordinairement je le colore en y mêlant des matières roses ou vertes, de nuances très-claires. La graisse fond autour de l'extrémité du petit cône de platine. Ici la chaleur est plus intense au point même où elle s'applique sur le corps, et de plus j'évite le forage des plaques.

Fig. 1.



On sait qu'après le refroidissement la matière grasse dessine des bourrelets qui ont la forme d'ellipses ou de cercles qu'on peut appeler *isothermes*. Les rayons vecteurs de ces courbes mesurent les distances auxquelles parvient, suivant leur direction, la température nécessaire à la fusion d'une même substance. Par ce moyen, de Senarmont avait pu vérifier, sur un certain nombre de matières minérales cristallisées, ce fait fondamental, que la chaleur se conforme, comme la lumière, à la symétrie générale de la cristallisation.

Grâce à l'appareil que j'ai imaginé, j'ai poursuivi ces recherches sur un beaucoup plus grand nombre de matières cristallisées ; je les ai étendues aux matières à texture schisteuse.

II. De l'ensemble de mes expériences, j'ai pu déduire des relations plus générales que celles qui avaient été énoncées par de Senarmont, entre la structure des corps et leurs pouvoirs conducteurs, pour la chaleur dans les différentes directions. Ces relations peuvent se résumer ainsi :

Dans les minéraux, la chaleur se propage moins facilement dans la direction perpendiculaire à un plan de clivage que parallèlement à ce plan [1].

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 68.

Digitized by Google

Dans les matières à texture schisteuse, la chaleur se propage moins facilement dans la direction normale que dans les directions parallèles aux feuillets (1).

Comme, entre les plans de clivage ou de schistosité, il y a moins de cohésion qu'entre d'autres directions planes, j'ai pu énoncer cette règle générale sous cette autre forme :

La chaleur se propage plus facilement entre les surfaces qui ont entre elles moins de cohésion.

J'ai montré de plus que les *plans de schistosité* se distinguent de ceux de *stratification* dans les roches en cè que ceux-ci n'exercent aucune influence sur la position des axes des courbes de fusion, tandis que les directions planes de schistosité déterminent l'orientation de ces axes, comme il a été dit plus haut.

Il en est de même dans les minéraux, où les plans de *séparation* produits par une sorte de stratification de cristaux déjà constitués se distinguent par leur inertie des plans de clivage qui agissent sur le mode de propagation de la chaleur (2).

III. Souvent il est difficile de trouver l'orientation des axes des ellipses thermiques par rapport à des lignes de repères indiquées naturellement ou tracées à la main sur les plans où l'on a produit ces courbes; aussi ai-je eu recours à l'emploi d'une lunette, dont j'ai exposé le principe dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (3) et dont j'ai donné la description dans le *Bulletin de la Société géologique de France* (4).

Le principe consiste dans le dédoublement de la courbe au moyen d'un prisme biréfringent. Si l'on regarde une ellipse au travers d'un prisme de ce genre, on aperçoit deux images, deux courbes qui se superposent plus ou moins. Pour une position quelconque de la section principale du prisme, la droite qui joint les points d'intersection des deux images et celle qui joint leurs centres sont en général obliques, l'une par rapport à l'autre; elles deviennent rectangulaires lorsque la section principale du spath est

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXVIII (27 avril 1874) et t. LXXXI (20 décembre 1875).

(2) *Bull. de la Soc. géologique de France*, 3e série, t. III, p. 499.

(3) *Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 413.

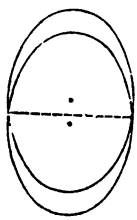
(4) *Bull. de la Soc.*, loco citato.

Digitized by Google

parallèle à l'un des axes de l'ellipse (*fig.* 2). On regarde donc l'ellipse au travers d'un prisme réfringent. Ce prisme est placé devant l'oculaire d'une lunette et, perpendiculairement à sa section principale, on peut promener un fil au foyer de l'oculaire. Ce prisme enfin tourne devant l'oculaire et emporte un index, qui marque sa position par rapport à un cercle divisé perpendiculaire à l'axe de la rotation. On note la division où s'arrête l'index, lorsque le fil passe par les points d'intersection des deux images de la courbe. Soit α^0 cette division.

Si l'on regarde, de même, une ligne du plan de la courbe

Fig. 1.



au travers d'un prisme, on en voit en général deux images; mais, lorsque la section principale du prisme est parallèle à cette ligne, les deux images de la ligne se superposent; on note la division où s'arrête l'index, lorsque cette superposition a lieu. Soit β^0 cette division. $\alpha^0 - \beta^0$ fait connaître la distance angulaire de l'axe de la courbe et de la ligne choisie dans le plan de cette courbe.

Cette lunette a été construite, d'après mes données, par M. Laurent. Le prisme biréfringent qui s'y trouve employé a été imaginé par M. Soleil; il permet d'augmenter ou de diminuer, à volonté, la distance des centres des images, sans altérer la longueur de leurs axes parallèles à la direction de la section principale du spath.

Digitized by Google

William Grosselsky
Ingenieur

SÉANCE DU 17 MARS 1876.

PRÉSIDENCE DE M. BOURGET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société: MM. Cousté, directeur de la Manufacture des Tabacs; l'abbé Garé, professeur de physique à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

M. Mercadier fait fonctionner les diapasons dont le mouvement vibratoire est entretenu électriquement à l'aide d'un électro-aimant disposé entre les branches de chaque diapason.

En associant deux diapasons de ce genre, munis de miroirs et agissant sur l'un d'eux seulement, l'auteur montre qu'on réalise avec une grande perfection les courbes caractéristiques de l'unisson de l'octave, de la quinte, etc., et fixe ces courbes à la forme qui correspond à telle différence de phase que l'on veut.

M. F. Tommasi fait connaître le moyen qu'il a imaginé d'utiliser la chaleur provenant de la vapeur perdue des machines ordinaires. L'auteur fait aussi fonctionner un appareil dans lequel la dilatation d'une colonne d'huile contenue dans un tube de fer, s'exerçant sur une plaque de plomb retenue par une garniture d'acier, percée d'un trou, en fait sortir par pression un cylindre de plomb, comme le ferait un effort mécanique que l'auteur évalue à 800 atmosphères.

La séance est levée à 10 heures

Sur la composition optique de mouvements vibratoires rectangulaires de période et de phase quelconques; par M. E. Mercadier.

L'appareil qui va être décrit, et qui est construit par M. Duboscq, est destiné à montrer les figures résultant de la composition de pa-

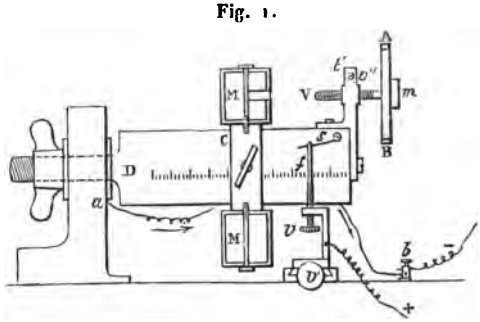
Digitized by Google

reils mouvements, c'est-à-dire principalement à faire les expériences classiques de M. Lissajous, en y ajoutant les deux points suivants. En premier lieu on peut, *avec deux diapasons seulement,* produire les figures représentatives de tous les intervalles compris entre l'unisson et l'octave et *les rendre absolument fixes* pendant tout le temps qu'on veut. Ensuite on peut, pour un intervalle quelconque, correspondant à un rapport de périodes $\frac{T'}{T}$, produire à volonté et rendre fixe chaque figure relative à ce rapport $\frac{T'}{T}$ *et à une différence de phase quelconque.* Ces figures d'ordinaire se produisent; on le sait, toutes successivement, parce que, en général, le rapport $\frac{T'}{T}$ n'est pas complétement atteint ou qu'il est légèrement dépassé; l'une d'elles se produit au hasard, si le rapport $\frac{T'}{T}$ est exact, quand on fait vibrer les corps sonores à l'aide des moyens ordinairement employés, tels que le choc ou le frottement.

I. L'appareil se compose de deux diapasons, du genre de ceux que j'ai déjà décrits sous le nom d'*électro-diapasons,* et dont le mouvement produit par un courant et un électro-aimant s'entretient automatiquement. (Voir *Journal de Physique,* t. II, p. 350.)

Les *fig.* 1 et 2 représentent l'un de ces instruments.

Fig. 1.



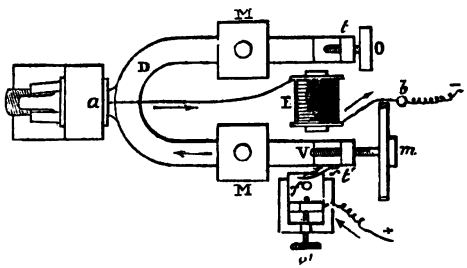
1° Les pièces formant le dispositif électrique sont :

Un électro-aimant E à fil gros permettant l'emploi d'éléments de piles énergiques, comme des éléments au bichromate de potasse à double zinc (deux ou trois éléments en tension), ou des éléments

Digitized by Google

Bunsen. Il est fixé entre les branches de l'électro-diapason à une distance de 3 ou 4 millimètres de chaque côté, pour qu'on puisse

Fig. 2.



donner à ces branches une amplitude de 4 ou 5 millimètres, et sur un support solide à pieds munis de vis calantes. L'un des bouts du fil de cet électro-aimant communique avec le diapason en un point *a*; l'autre bout communique, à l'aide d'un bouton *b*, à l'un des pôles de la pile. Un style *s*, en fil d'argent d'environ $0^{mm},5$ de diamètre, est fixé au diapason par une vis.

Un buttoir *f* métallique, relié à l'autre pôle de la pile, peut avoir des formes diverses, à la condition de pouvoir être approché graduellement du style. La forme indiquée sur la figure donne de bons résultats. C'est un gros fil d'argent *f* de 1 millimètre de diamètre environ, soudé à une vis *v* dont l'écrou est fixé à une glissière à laquelle une vis *v'* peut donner un mouvement horizontal. Cette dernière vis permet d'appuyer le buttoir *f* contre le style : la vis *v* permet de faire varier le point de contact de ces deux pièces sans changer leur pression mutuelle, ce qui est nécessaire pour prévenir les effets de leur usure et de leur oxydation.

On voit que, lorsque *f* et *s* se touchent, le courant passe et anime l'électro-aimant; les deux branches de l'instrument se rapprochent, mais le courant cesse aussitôt pour se rétablir après la durée d'une période quand le style revient alors, en vertu de l'élasticité de l'acier, toucher le buttoir, et ainsi de suite : le mouvement est entretenu ainsi automatiquement par le passage dans l'électro-aimant d'un courant à chaque période. Il se produit d'ailleurs à chaque fois une étincelle d'induction verte, dont la présence dans l'obscurité sert à contrôler la régularité de la marche de l'appareil, et permet même de le mettre ou remettre en marche sans avoir besoin, à la rigueur, de voir ni le buttoir ni le style.

Digitized by Google

2° Le dispositif optique de l'appareil se compose d'un miroir en acier poli ou en verre argenté O vissé soit au diapason lui-même soit à un montant en cuivre *t* semblable à celui de *t'* de la *fig.* 1, et sur lequel on fait tomber un faisceau lumineux à la manière ordinaire.

3° Une troisième série de pièces est destinée à faire varier à volonté la période de l'instrument. Les unes la font varier rapidement pendant que le mouvement est arrêté, lorsqu'on veut passer d'une figure acoustique à une autre; ce sont des masses prismatiques en cuivre remplies de plomb, M, fixées par un bouchon à vis ou même soudées à un curseur *c*, qui permet de les faire glisser sur les branches le long d'une graduation en millimètres et de les fixer à une position quelconque. On peut donner à ces masses, sans inconvénient, des poids de 500 ou 600 grammes. On détermine aisément ces poids de façon qu'en les transportant de l'extrémité du diapason au voisinage du talon la période varie du simple au double.

Une dernière pièce permet de faire varier la période très-lentement et, ce qui est très-important, *sans arrêter le mouvement* de l'instrument. C'est une vis V en acier à double filet dont le pas est de 1 millimètre, et dont l'écrou *t'* en cuivre est vissé à la branche du diapason, comme l'indique la *fig.* 1. La tête de cette vis porte des cames en cuivre A, B, I, K (*fig.* 3) et une petite masse en

Fig. 3.

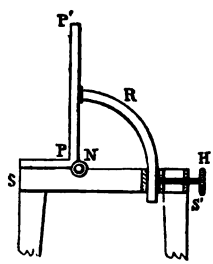
plomb *m* pour augmenter son poids. L'écrou de la vis est fendu et un bouton *v''* permet de le serrer suffisamment, pour que pendant le mouvement du diapason il n'y ait pas de ballotage qui empêcherait ce mouvement, mais pour qu'on puisse néanmoins, en frappant les cames avec un petit marteau ou avec le doigt, faire avancer ou reculer la vis et la masse *m*, sans arrêter le mouvement. Par suite, en déplaçant ainsi le centre de gravité du système, on peut en faire varier la période, l'augmenter si *m* marche vers la droite, la diminuer si *m* marche vers la gauche. On arrive ainsi très-aisément, avec un peu d'exercice, à changer par degrés insensibles la période

Digitized by Google

du mouvement vibratoire *sans l'arrêter* et même sans en changer notablement l'amplitude.

II. Supposons maintenant un second diapason identique au premier sauf les masses, et réglé de telle manière que, les masses du premier étant reculées autant que possible, les deux instruments soient à l'unisson. En outre, le second est disposé de façon que le plan de sa vibration puisse être horizontal ou vertical. La *fig.* 4 indique une des dispositions qu'on peut adopter à cet effet. Le diapason est monté sur une planchette PP′ mobile autour d'une charnière N placée sur le support à pieds SS′, et cette planchette peut être maintenue dans un azimut quelconque à l'aide d'un arc de cercle en cuivre R et d'une vis de pression H.

Fig. 4.



Le diapason n° 2 étant horizontal et mis en vibration, si l'on fait mouvoir le premier après avoir reculé les masses M, on pourra faire alors les expériences qui montrent l'interférence des mouvements vibratoires parallèles. Le diapason n° 2 étant placé verticalement, on voit qu'on pourra montrer la composition de deux mouvements vibratoires quelconques rectangulaires, dont le rapport $\frac{T'}{T}$ des périodes est compris entre 1 et 2.

A cet effet, en faisant mouvoir les masses M, on arrivera rapidement à produire la forme générale de la figure optique caractéristique de l'intervalle $\frac{T'}{T}$ cherché; mais, à moins de tomber juste sur cet intervalle, ce qui n'arrive pour ainsi dire jamais, on n'obtiendra d'abord qu'un intervalle plus ou moins approché de $\frac{T'}{T}$. Or

Digitized by Google

on sait qu'alors, T et T′ étant les durées des périodes exactes des deux mouvements, et

$$(1)\qquad \begin{cases} x = a \sin 2\pi \dfrac{t}{T}, \\ y = a \sin 2\pi \left(\dfrac{t}{T'} + \varphi\right) \end{cases}$$

les équations de la courbe du mouvement résultant; si par le déplacement des masses M on arrive à une période T″ très-voisine de T′, les choses se passent comme si la courbe du mouvement résultant était la même que celle que représentent les équations (1) avec une phase φ variable avec le temps. On voit alors se succéder d'une manière continue une série de courbes, correspondant aux équations (1), dans lesquelles φ prendrait toutes les valeurs successives de zéro à 1, et qu'on peut considérer comme le résultat de la déformation continue de l'une quelconque d'entre elles, qui se reproduit périodiquement au bout d'un temps qu'on peut appeler, pour abréger, la *période de déformation*.

On reconnaîtra donc qu'on arrive à une valeur T″ de la période du diapason n° 1 voisine de T′ lorsqu'on apercevra ces figures successives, et plus la période de déformation sera longue, plus T″ sera rapproché de T′.

C'est alors que, après avoir fixé les masses M, on peut faire usage de la vis à cames V. Sans arrêter le mouvement, on fait mouvoir cette vis par petits chocs brusques et l'on arrive alors à allonger peu à peu la durée de la période de déformation, de façon à rapprocher T″ de T′ autant qu'on le veut et à obtenir une courbe résultante de l'une des formes caractéristiques de l'intervalle $\frac{T'}{T}$ considéré, cette courbe conservant une grande fixité.

III. On peut aller plus loin, et résoudre complétement le problème suivant : *Produire la courbe résultant de la composition de deux mouvements de périodes* T *et* T′ *et d'une différence de phase déterminée* φ', *et la maintenir fixe.*

En effet, supposons qu'on soit arrivé, à l'aide des moyens de réglage ci-dessus indiqués, à produire l'une des formes de la courbe caractéristique de l'intervalle $\frac{T'}{T}$ avec une période de déformation

Digitized by Google

assez longue. Il s'agit en quelque sorte d'*arrêter* le mouvement de déformation à la courbe qui correspond à la différence de phase φ' et de *maintenir* cette courbe.

Puisque, dans les circonstances où l'on se trouve placé, une variation très-petite de période de l'un des mouvements vibratoires revient à une variation de la différence entre sa phase et celle de l'autre mouvement, il doit suffire pour résoudre la question précédente de pouvoir faire varier la période de l'un des mouvements *brusquement*, au moment où la variété de courbe où l'on veut s'arrêter se présente, et de *maintenir* à cette période sa nouvelle valeur.

Or on sait, et je l'ai démontré rigoureusement dans un Mémoire inséré récemment dans ce Bulletin (*voir* p. 41, année 1876), que *la période d'un mouvement vibratoire dont l'amplitude est assez grande augmente ou diminue avec l'amplitude.* Cette variation est extrêmement faible, il est vrai; mais le procédé optique de composition des mouvements vibratoires est assez sensible pour la mettre nettement en évidence. On n'a, pour s'en convaincre, qu'à supprimer le courant de la pile qui anime l'un des électro-diapasons en expérience : son amplitude diminue graduellement, et l'on voit immédiatement varier la *vitesse de déformation* de la courbe, ce qui prouve une variation de période correspondante.

On est ainsi ramené, pour résoudre la question posée, à modifier *brusquement* l'amplitude de l'un des mouvements, dès que se présente la courbe demandée, et à maintenir l'amplitude correspondant à la valeur de la période qui convient à cette variété de courbe.

Il y a plusieurs moyens de faire varier cette amplitude : on peut faire varier l'intensité de la pile de l'un des électro-diapasons; on peut aussi, ce qui revient au même d'ailleurs, faire mouvoir l'électro-aimant E (*fig.* 1) dans une glissière, de façon à l'éloigner ou à le rapprocher de l'extrémité des branches de l'instrument; mais ces moyens sont insuffisants, parce qu'ils ne permettent pas de changer *subitement, brusquement,* l'amplitude. Un moyen plus simple et efficace consiste à exercer sur l'une des branches de l'instrument une pression graduée, soit avec le doigt, soit avec une vis dont la tête est couverte d'un fragment de tube ou d'un hémisphère en caoutchouc.

L'expérience prouve qu'en effet on fait ainsi varier immédiate-

Digitized by Google

ment la vitesse du mouvement de déformation des courbes acoustiques. Seulement, pour arriver au but à atteindre, il faut savoir si le diapason dont on a à faire varier l'amplitude est en avance ou en retard, s'il faut diminuer ou augmenter sa période et par suite son amplitude. Cela est aisé à reconnaître, d'après ce qui vient d'être dit. En effet, si, en exerçant une légère pression sur l'un des diapasons, la rapidité de la déformation de la courbe augmente, c'est que le désaccord des deux diapasons augmente par cette pression, c'est-à-dire par cette diminution d'amplitude; cette amplitude est donc déjà trop petite et le diapason va déjà trop vite. En ce cas, on peut ou bien agir sur l'autre diapason, ou bien ralentir le premier en agissant sur la vis à cames V, jusqu'à ce que la pression ralentisse le mouvement de déformation de la courbe : on peut toujours arriver à ce résultat.

Dès lors voici comment il faut agir. Lorsque l'un des diapasons est ainsi réglé et que, par suite du mouvement lent de déformation, on est arrivé à la variété de courbe correspondant à la différence de phase φ' donnée, on presse le diapason de façon à arrêter le mouvement de déformation, et il suffit alors de maintenir une pression convenable (et par suite une amplitude et une période convenables) pour que la courbe obtenue reste fixe.

Tels sont les principaux résultats auxquels cet instrument permet d'arriver. Je dois ajouter que, s'il s'agit de montrer la composition des mouvements relatifs aux intervalles musicaux les plus simples seulement : unisson, octave, sixte, quinte, quarte, tierces majeure et mineure, il suffit de prendre des diapasons correspondant, sans masses, à l'ut_2 (128 périodes ou vibrations doubles par seconde). Si l'on veut aller plus loin, et opérer sur des intervalles de forme plus complexe que la tierce mineure, $\frac{6}{5}$, on le peut sans doute; mais la netteté des figures optiques se trouve alors altérée par un phénomène accessoire dont je ne parlerai pas en ce moment, et il faudrait alors se servir de diapasons plus aigus pour avoir des courbes d'une netteté suffisante.

Après les explications précédentes, il paraîtra d'ailleurs inutile d'insister sur la précision qu'on peut obtenir avec un électro-diapason comme celui qui a été décrit en l'employant comme tonomètre, dans l'intervalle d'une octave et même de plusieurs octaves.

Digitized by Google

On voit, en effet, qu'on peut le mettre aisément, avec une justesse en quelque sorte sans limites, à l'unisson, ou à l'octave ou à la double octave d'un corps sonore quelconque, pourvu qu'on puisse fixer à la surface de ce dernier un point brillant et le viser par réflexion sur le miroir de l'électro-diapason à la manière ordinaire.

Sur une nouvelle application industrielle de la chaleur, dite : Le moteur thermodynamique; par M. Ferdinando Tommasi.

§ I. *Principe.* — En présence des services rendus à l'industrie par l'emploi de la vapeur d'eau comme force motrice, nous nous sommes posé la question de savoir s'il était indispensable de chauffer un liquide jusqu'à changement d'état avant de songer à lui demander, simplement par l'effet de sa dilatation, un travail dynamique quelconque.

Et nous avons reconnu (non-seulement par le raisonnement, mais aussi par l'argument sans réplique de l'expérience) :

1° Que, pour tout accroissement de température, si petit qu'il soit, la chaleur communiquée à un liquide peut, par suite de la dilatation de ce dernier, se convertir, théoriquement, presque intégralement en travail dynamique;

2° Que, pour une quantité donnée de chaleur, ce travail dynamique peut être bien autrement considérable que s'il était produit par la tension de la vapeur, puisque la dilatation d'un liquide n'absorbe pas de chaleur à l'état latent, comme il arrive audit liquide au moment où il se transforme en vapeur;

3° Que, pour un volume de liquide donné, la quantité du volume additionnel obtenu par sa dilatation étant naturellement en rapport avec la quantité de chaleur communiquée au liquide et avec le coefficient de dilatation de ce dernier, il y a avantage à se servir d'un liquide incapable de se transformer en vapeur et dont la capacité calorifique ainsi que le coefficient de dilatation soient aussi élevés que possible;

4° Que, par conséquent, préférablement à tout autre liquide, il

Digitized by Google

y a lieu d'employer à cet objet les huiles fixes et inoxydables dont la chaleur spécifique est 0,31, le coefficient de dilatation $\frac{6}{10000}$, et qui ne peuvent pas se vaporiser;

5° Que, cependant, étant nécessaire que la température de l'huile, malgré la durée indéterminée et la continuité du travail, ne dépasse pas un certain nombre de degrés fixés à l'avance, il faut que cette huile soit alternativement et successivement chauffée et refroidie, ce qui produit une augmentation et une diminution alternative et successive de son volume;

6° Que la puissance dynamique ainsi développée par la dilatation et condensation alternative et successive de l'huile est parfaitement applicable à un piston plongé dans cette huile dans la même disposition que les pistons des presses hydrauliques, et que ce piston peut agir sur un arbre de couche ou sur un balancier dans des conditions identiques à celles des pistons à simple effet des machines à vapeur;

7° Que cette puissance ne connaît pas d'autres bornes que celles qui lui sont imposées par la solidité de l'appareil, à la condition cependant de ne pas excéder un certain nombre de kilogrammètres par calorie (1);

8° Que l'explosion des appareils étant absolument impossible là où il n'y a pas de gaz comprimés, et la compressibilité des huiles étant bien peu de chose, il devient facile et complétement sans danger de faire travailler ces appareils à des pressions relativement très-considérables;

9° Que la source de la chaleur nécessaire pour dilater l'huile peut être empruntée à la vapeur d'échappement d'un cylindre à vapeur ordinaire, et que, dans ce cas, *cette source de chaleur est* ESSENTIELLEMENT GRATUITE;

10° Que cette vapeur d'échappement, en se condensant au moment où elle cède sa chaleur à l'huile, produit un vide dont profitent les pistons à vapeur et que l'on peut refouler dans la chaudière l'eau chaude qui en résulte et utiliser ainsi le résidu de la chaleur qu'elle contient;

11° Qu'il résulte de l'exposé qu'un moteur mis en mouvement par

---

(1) Ce nombre ce trouverait excédé lorsque la quantité de chaleur à consommer dans l'effort dynamique ou bien la réduction de volume due à la compression, égale ou dépasse l'augmentation de volume produite par la dilatation.

Digitized by Google

la dilatation de l'huile est le complément naturel d'un cylindre à vapeur, puisqu'il permet d'utiliser, aussi entièrement que possible, la chaleur dépensée pour vaporiser l'eau;

12° Enfin que ce moteur peut recevoir des applications très-nombreuses et que rien ne s'oppose à ce qu'il produise son travail avec le concours des cylindres à vapeur, dont il utilise l'échappement sur une seule et même machine pour produire un seul et même travail.

Dans l'impossibilité de transporter dans les salles de la Société les grands appareils d'expériences et les machines qui réalisent l'application pratique et industrielle de cette nouvelle force motrice, nous avons dû nous borner à soumettre aux savants membres de cette Société une expérience qui démontre que, pour tout accroissement de température, si petit qu'il soit, la chaleur communiquée à une huile fixe peut, par suite de la dilatation de cette dernière, se convertir en travail dynamique.

§ II. *Expérience.* — Un tube en fer (longueur, 1 mètre; diamètre intérieur, $0^m,008$; section intérieure, 50 millimètres carrés; capacité, 50 centimètres cubes), bouché à son extrémité inférieure et terminé à son extrémité supérieure par un fort filet de vis, a été complétement rempli d'huile d'olive (*fig.* 1).

Fig. 1.

Fig 2.

Une rondelle en plomb de l'épaisseur de $0^m,006$ a été placée sur l'orifice du tube.

Un chapeau en fer, taraudé à l'intérieur et percé par un trou

Digitized by Google

dont le diamètre est le même que celui de l'intérieur du tube, fixe et serre cette rondelle sur l'orifice de ce tube de manière à le boucher hermétiquement.

En chauffant alors légèrement le tube, l'huile dilatée force la portion de rondelle qui correspond au trou du chapeau à se couper contre ce dernier et à le traverser en laissant la rondelle percée au milieu, exactement comme si elle l'avait été par un emporte-pièce (*fig.* 2).

Ce travail est accompli par l'huile dans l'espace de quelques secondes.

Pour mesurer ensuite la tension à laquelle ce travail a été accompli et, en même temps, le nombre de kilogrammètres obtenus (cela d'une manière au moins approximative), on a procédé à l'expérience suivante :

Une rondelle en plomb (B), tout à fait pareille à celle qui a servi dans l'expérience précédente, a été placée entre une tige en acier A et un trou pratiqué dans un socle en fonte. Ce trou et cette tige ont le même diamètre que l'intérieur du tube dans lequel l'huile a été dilatée.

Pour que la tige en acier A ait pu percer la nouvelle rondelle en plomb, dans le même espace de temps et dans les mêmes conditions que l'autre, il a été nécessaire de suspendre au bout du levier qui lui est fixé un poids de 20 kilogrammes. Le bout de ce levier étant 20 fois plus éloigné du centre de rotation que la tige en acier, il est évident qu'en multipliant par 20 le poids que l'on y a suspendu on aura le poids qui aurait été nécessaire pour opérer verticalement sur la tige en acier. Ce poids étant par conséquent de 400 kilogrammes et la section de la tige étant de 50 millimètres carrés, il aurait fallu un poids de 800 kilogrammes pour 1 centimètre carré. Le poids de 800 kilogrammes par centimètre carré équivaut à 800 atmosphères environ.

Dans ces expériences, il est difficile de mesurer exactement non-seulement le nombre de kilogrammètres obtenus, mais aussi la quantité de chaleur dépensée. Le calcul, cependant, démontre que cette dernière n'excède pas $\frac{1}{10}$ de calorie (8 degrés) et l'on peut évaluer à 2,5 environ le nombre de kilogrammètres obtenus, ce qui revient à 25 kilogrammètres par calorie.

Digitized by Google

SÉANCE DU 7 AVRIL 1876.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. A. Fridblatt, contrôleur du télégraphe à Chaumont ; Décler, professeur au Collége de Langres ; George Fleetwood Lawton, électricien de l'*Eastern Telegraphe C°*, à Marseille.

M. Henri Becquerel fait connaître la suite des résultats de ses recherches sur le pouvoir rotatoire magnétique des diverses substances. Il signale spécialement les particularités que présentent les solutions magnétiques de protochlorure et de perchlorure de fer.

M. Niaudet présente, au nom de M. Jablochkoff, un électro-aimant, formé d'un noyau de fer doux autour duquel est enroulée de champ une bande de cuivre formant une spirale plate. Grâce à cette disposition, on obtient des effets magnétiques plus intenses, toutes choses égales d'ailleurs, qu'avec un fil de cuivre de même section et de même longueur. En appliquant la spirale sur une plaque d'acier, on réalise un aimant circulaire donnant au centre un pôle et sur le pourtour un pôle contraire.

M. Jamin expose les principes de la théorie qu'il a imaginée pour rendre compte des phénomènes dont il a antérieurement trouvé les lois par expérience.

Il arrive à l'équation

$$y = \mathrm{M}\left[e^{ax} - e^{a(2l-x)}\right],$$

qui établit la distribution du magnétisme dans toute la longueur du barreau. Seulement, dans la formule de Biot, $a = \frac{c}{r}$, dans celles de M. Jamin $a = \frac{c}{\sqrt{r}}$, c étant une constante, r étant le rayon du barreau.

On peut se rendre compte, suivant M. Bouty, de la différence entre ces résultats en remarquant que les expériences de Coulomb et les siennes ont été faites par la méthode des moments magnétiques, tandis que celles de M. Jamin ont été faites par la méthode de la force d'arrachement.

La séance est levée à 10 heures un quart.

Digitized by Google

Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique (1); par M. Henri Becquerel.

Depuis la découverte de Faraday, les physiciens qui ont étudié le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique ont montré que la rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant, sous une même épaisseur, divers corps soumis à une intensité magnétique donnée, variait avec la nature de ces corps; mais ils n'ont reconnu aucun rapport simple entre la grandeur de la rotation et les propriétés physiques ou chimiques des corps.

M. de la Rive avait fait observer que la rotation semblait d'autant plus grande que l'indice de réfraction des corps était plus grand; mais quelques expériences de M. Verdet ayant paru contredire cette remarque, on ne fit pas d'autres recherches dans cette voie.

Les expériences faites jusqu'ici ne m'ont pas semblé suffisamment concluantes, et j'ai pensé qu'en étudiant des corps diamagnétiques et très-réfringents, l'influence de l'indice de réfraction pourrait devenir prépondérante, et manifester une relation masquée dans les expériences antérieures. Ces prévisions ont été pleinement confirmées, et les observations se sont immédiatement étendues à d'autres parties de la question.

Je me suis servi, dans ce travail, d'un très-fort électro-aimant à branches verticales, dont les armatures sont percées d'un trou cylindrique suivant la ligne des pôles. Le corps à étudier était placé entre les deux armatures polaires.

La mesure des rotations se faisait au moyen d'un polarimètre à pénombres. Les sources de lumière étaient la flamme monochromatique de sodium, la flamme de lithium, vues au travers d'un verre rouge pour éliminer la lumière orangée, et, dans des cas exceptionnels, la lumière Drummond transmise à travers des écrans rouges, verts ou bleus, laissant passer une lumière sensiblement homogène.

---

(1) Recherches présentées à l'Académie des Sciences dans trois Notes, le 7 juin 1875, le 31 janvier et le 10 juillet 1876.

Digitized by Google

Les dispositions précédentes ont l'avantage de permettre d'observer des corps très-colorés sous une petite épaisseur.

1° *Relation entre le pouvoir rotatoire magnétique des corps et leurs indices de réfraction.* — Le tableau suivant contient quelques-uns des résultats obtenus. L'unité qui a été choisie pour cette série d'expériences est la rotation magnétique de sulfure de carbone.

TABLEAU I.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POUVOIR rotatoire magnétique R.	INDICE de réfraction n.	RAPPORT $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$.
Lumière jaune (*raie* D).			
Alcool méthylique	0,253	1,3530	0,166
» propylique	0,279	1,3836	0,160
» butylique	0,294	1,3934	0,161
» amylique	0,311	1,4046	0,162
Chloroforme	0,380	1,4520	0,163
Protochlorure de carbone	0,404	1,4580	0,169
Sous-sulfure de phosphore	2,592	2,0661	0,186
Soufre fondu (114 degrés)	1,904	1,9290	0,188
Protochlorure de soufre S^2Cl	0,984	1,6460	0,212
Bichlorure de soufre SCl	0,932	1,6190	0,219
Perchlorure de carbone	0,761	1,5620	0,216
Chlorure de silicium	0,444	1,4090	0,227
Protochlorure de phosphore	0,651	1,5080	0,225
Phosphore fondu	3,120	2,0740	0,220
Sulfure de carbone	1,000	1,6249	0,231
Cristaux monoréfringents. Blende (cristallisée)	5,295	2,3690	0,204
Cristaux monoréfringents. Sel gemme NaCl	0,843	1,5430	0,256
Cristaux monoréfringents. Silicine KCl	0,672	1,4830	0,255
Lumière rouge.			
Sulfure de carbone	1,000	1,6120 Li	0,240
Oxyde de cuivre	14,060	2,8490 Li	0,241
Sélénium	1,960	2,6550 B	0,255
Brome	10,960	1,6160 Li	0,465

En étendant les expériences à un grand nombre de substances, on reconnaît que la rotation magnétique croît en général avec l'in-

Digitized by Google

dice de réfraction n des corps, à peu près comme la fonction $n^2(n^2-1)$, et l'on arrive aux conséquences suivantes :

1° Pour les corps diamagnétiques, le quotient du pouvoir rotatoire magnétique R par le produit $n^2(n^2-1)$ est un nombre qui varie peu si on le compare aux grandes différences que l'on observe dans la grandeur des rotations magnétiques.

2° En rapprochant entre elles les substances pour lesquelles le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est le même, on reconnaît que les corps d'un groupe sont des composés des mêmes substances chimiques, ou appartiennent à la même famille.

Ainsi, en opérant avec la lumière jaune du sodium et prenant pour unité la rotation du sulfure de carbone à 16 degrés, on trouve que :

Les acides très-oxygénés, tels que l'acide azotique et l'acide sulfurique, donnent pour le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ des nombres très-petits voisins de 0,11 ;

Les alcools, le protochlorure de carbone, le chloroforme, des nombres voisins de 0,16 ;

Les composés du soufre s'écartent peu de 0,188 ;

Les composés du chlore, du phosphore, donnent à peu près 0,22 ;

Le brome et l'iode se remarquent par la grandeur du rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$, qui avec la lumière rouge atteint 0,465 pour le brome. Ce caractère se retrouve dans les bromures et les iodures.

Les composés d'étain, d'antimoine, de bismuth donnent des nombres très-grands relativement aux précédents et communiquent ce caractère à leurs dissolutions.

Pour ces dissolutions, le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est intermédiaire entre celui du dissolvant et celui qui correspondrait au corps dissous, et d'autant plus près de ce dernier que la dissolution est plus concentrée.

Le quotient $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est donc un nombre qui caractérise la nature chimique de la substance étudiée et l'intervention propre de cette substance dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique. Ce nombre est

Digitized by Google

grand pour les corps les plus diamagnétiques, le brome, l'antimoine, le bismuth; et il est d'autant plus petit que les corps sont moins diamagnétiques ou renferment plus d'oxygène. Dans les combinaisons, l'oxygène se comporte comme très-magnétique.

Parmi les corps étudiés, le soufre fondu présente une particularité remarquable. Le pouvoir rotatoire magnétique de ce corps augmente très-rapidement à mesure qu'il se refroidit et s'approche du point de solidification. Cette variation rapide correspond à un accroissement aussi rapide de l'indice de réfraction.

Un certain nombre de corps cristallisés, tels que le spath-fluor, le diamant, le rubis-spinelle, s'écartent de la loi générale. Ce fait ne peut s'expliquer jusqu'ici que par un état particulier des corps cristallisés qui les rend rebelles à l'action du magnétisme. C'est un fait d'observation qui s'étend aux cristaux biréfrigents et à certains cristaux monoréfringents.

2° *Corps magnétiques.* — Les corps magnétiques, à part quelques exceptions, présentent, comme on le sait, la propriété remarquable de dévier le plan de polarisation de la lumière à l'inverse des corps diamagnétiques. Les dissolutions des sels de fer dans l'eau manifestent ces effets inverses, ainsi que l'a montré M. Verdet. On convient d'appeler *rotations positives* les rotations magnétiques de même sens que celle de l'eau, et *rotations négatives* les rotations inverses des précédentes. En mesurant les rotations magnétiques produites par des dissolutions inégalement concentrées de protochlorure et de perchlorure de fer dans l'eau, on obtient les résultats indiqués dans les tableaux suivants. Ces rotations ont été mesurées pour la lumière jaune D du sodium, et sont rapportées à la rotation de l'eau comme unité.

Digitized by Google

TABLEAU II.

DENSITÉS des dissolutions.	POIDS DU SEL dans l'unité de volume.	POIDS DE L'EAU dans l'unité de volume.	ROTATION de la dissolution.	ROTATION du sel anhydre.	POUVOIR rotatoire moléculaire.
		Lumière jaune D.			
		Dissolutions de protochlorure de fer dans l'eau.			
1,4331	0,5283	0,9048	+ 0,195	— 0,709	— 1,343
1,2141	0,2641	0,9500	+ 0,765	— 0,185	— 0,701
1,1093	0,1320	0,9773	+ 0,908	— 0,069	— 0,528
1,0548	0,0660	0,9888	+ 0,954	— 0,034	— 0,521
		Dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau.			
1,6933	1,0247	0,6686	—15,584	—16,252	—15,869
1,5315	0,7657	0,7658	— 8,768	— 9,533	—12,446
1,3230	0,4410	0,8820	— 2,674	— 3,556	— 8,059
1,1681	0,2205	0,9476	— 0,116	— 1,063	— 4,822
1,0864	0,1102	0,9762	+ 0,621	— 0,355	— 3,215
1,0445	0,0551	0,9894	+ 0,869	— 0,120	— 2,177
1,0232	0,0275	0,9957	+ 0,936	— 0,0597	— 2,153

On admet généralement qu'avec des dissolutions inégalement concentrées d'un sel diamagnétique, le rapport de la rotation magnétique, corrigé de l'action du dissolvant, au poids du sel anhydre contenu dans l'unité de volume de la dissolution est un nombre sensiblement constant, que l'on peut appeler le pouvoir rotatoire magnétique moléculaire du sel dissous. J'ai reconnu, au contraire, que les dissolutions de protochlorure et de perchlorure de fer dans l'eau conduisent à des nombres essentiellement variables. Lorsque ces dissolutions sont très-étendues, le pouvoir rotatoire moléculaire qui est négatif est sensiblement constant; puis, à mesure que la concentration devient plus grande, il augmente à peu près proportionnellement au poids du sel anhydre contenu dans l'unité de volume de la dissolution. L'état de sursaturation des dissolutions concentrées se maintient pendant un temps suffisant pour permettre les observations à la température ordinaire.

Le perchlorure de fer forme avec l'eau diverses combinaisons chimiques, mais ces combinaisons ne semblent pas influer sur la

Digitized by Google

régularité du phénomène. Pour des dissolutions plus concentrées encore que celles qui sont citées ici, et qui contiennent 7 pour 100 et jusqu'à 8 pour 100 de perchlorure de fer, ces observations présentent des anomalies dont l'étude ne saurait trouver place dans cet extrait, et pour lesquelles je renvoie au Mémoire complet que j'ai présenté à l'Académie le 10 juillet 1876.

Ainsi l'on arrive à cette conséquence importante, qu'avec les sels de fer la rotation magnétique croît beaucoup plus vite que le nombre des molécules actives.

Il est très-remarquable de rapprocher cette observation d'une expérience faite autrefois par mon père. Si l'on enferme dans un petit cylindre de papier des mélanges homogènes de fer en poudre et de résine, et que l'on soumette ces petit barreaux à l'action d'un aimant, on voit que l'action magnétique est d'abord proportionnelle au poids de fer contenu dans le mélange; puis, lorsque le poids du fer dépasse une certaine proportion, l'attraction magnétique croît très-vite et est représentée par une fonction du carré du poids du fer, fonction analogue à celle que j'ai indiquée pour représenter les rotations négatives des chlorures de fer.

On peut expliquer ce fait, en admettant que les parcelles de fer, qui deviennent par influence de petits aimants, réagissent les unes sur les autres de façon à augmenter le magnétisme propre qu'elles prendraient si elles étaient soumises à l'action de l'aimant. La

Fig. 1.

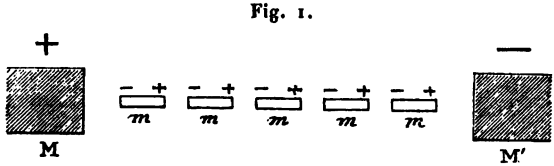


fig. 1, dans laquelle M et M' représentent les pôles de l'électro-aimant, et *m* les molécules de la substance étudiée, montre comment peut avoir lieu l'orientation polaire des molécules.

L'analogie complète entre ce fait et les résultats indiqués plus haut conduit à supposer que la rotation magnétique négative du plan de polarisation de la lumière est due à une action propre des molécules qui agissent sur la lumière polarisée comme autant de petits aimants inverses à l'aimant qui les influence. Cette hypothèse expliquerait comment, lorsque les molécules sont trop éloignées pour

Digitized by Google

s'influencer mutuellement d'une façon sensible, la rotation moléculaire est constante, et comment cette rotation augmente lorsque, par suite de la concentration, les molécules se rapprochent de façon à pouvoir réagir l'une sur l'autre.

Ces actions moléculaires ne sont pas proportionnelles aux attractions et répulsions magnétiques; car, si l'on suppose que les molécules réagissent les unes sur les autres, l'action de chaque molécule sur un point intérieur peut être augmentée sans que l'attraction sur un point extérieur relativement très-éloigné le soit dans la même proportion, cette attraction dépendant de la quantité de magnétisme non dissimulé par les molécules voisines.

Bien plus, certains corps diamagnétiques, tels que le bichlorure de titane, sont négatifs; mais ils renferment toujours, dans ce cas, un élément très-magnétique. D'autres, tels que le nickel, le cobalt et le manganèse, qui sont magnétiques, sont positifs, et même positifs ou négatifs comme le manganèse, suivant que l'action positive des substances combinées prédomine plus ou moins.

D'une manière générale, cette étude montre que la nature des molécules des corps intervient directement dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique, et que, dans une molécule complexe, il peut y avoir indépendance entre les effets produits par les divers éléments qui la composent.

On peut en conclure que la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière est fonction du magnétisme qui se développe par influence dans les molécules des corps.

3° *Dispersion des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses longueurs d'onde.*— L'étude de la dispersion des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses couleurs, pour un même corps, présente un intérêt spécial, parce que, la constitution chimique du corps étudié restant la même, les effets observés doivent être intimement liés à la nature et au mode de propagation des vibrations lumineuses. Le tableau ci-joint renferme les résultats des expériences faites sur plusieurs corps diamagnétiques et magnétiques. Les nombres d'une même colonne verticale se rapportent à une même longueur d'onde et représentent les rapports des diverses rotations à la rotation correspondante pour la lumière jaune D, avec le même corps.

Digitized by Google

Tableau III.

Rotations magnétiques des rayons de diverses longueurs d'onde.

	ROUGE.						JAUNE.	VERT.			BLEU.			
Raies du spectre	Raie rouge du lithium.	"	C	"	"	"	D	"	"	E	F	"	"	G
Rapports $\frac{\lambda_D^2}{\lambda^2}$	0,7719	0,7970	0,8057	0,8100	0,8210	0,8340	1,0000	1,1940	"	1,2504	1,4694	1,7120	"	1,8712
Rotations magnétiques positives.														
Sulfure de carbone	"	0,760	0,771*	0,781	0,790	0,804	1,000	1,236	1,272	1,302*	1,607*	1,976	2,023	2,219*
Eau	"	0,770	"	"	"	"	1,000	"	1,256	"	"	"	1,811	"
Sous-sulfure de phosphore	0,735	0,755	"	"	"	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
Rotations magnétiques négatives.														
Bichlorure de titane	"	"	"	"	"	0,710	1,000	1,370	"	"	"	2,960	"	"
Dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau, contenant: 0,33 de perchl. de fer	"	0,611	"	"	0,661	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
0,60 id.	"	"	"	0,654	0,662	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
0,70 id.	"	"	"	"	0,676	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
0,75 id.	"	"	"	"	0,678	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
Perchlorure de fer anhydre (calculé)	"	0,647	"	0,659	0,686	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
Rapports $\frac{\lambda_D^4}{\lambda^4}$	0,596	0,635	0,649	0,656	0,674	0,695	1,000	1,425	"	"	"	2,930	"	3,501

Nota. — Les quatre nombres marqués d'un astérisque sont empruntés au Mémoire de M. Verdet (*Ann. de Ch. et de Ph.*, 3e série, t. LXIX), et sont placés ici pour servir de points de repère.

Digitized by Google

La discussion des observations conduit aux conséquences suivantes :

1° *Rotations positives des corps diamagnétiques.* — Les rotations positives des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde croissent, comme on le sait, approximativement en raison inverse du carré des longueurs d'onde. Si l'on tient compte de l'indice de réfraction correspondant à chaque rayon, en même temps que de la longueur d'onde, on peut expliquer les écarts signalés à la loi simple indiquée plus haut et l'on reconnaît que l'expression $\frac{n^2(n^2-1)}{\lambda^2}$, λ étant la longueur d'onde et n l'indice de réfraction correspondant, se rapproche beaucoup des observations pour les corps que j'ai étudiés.

2° *Rotations négatives des corps magnétiques.* — Les rotations négatives des plans de polarisation de la lumière, qui n'avaient pas été étudiées jusqu'ici, présentent des caractères remarquables. Le bichlorure de titane, qui est incolore, se prête très-bien aux expériences. Les dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau, qui sont très-colorées, ne permettent les observations qu'avec les rayons rouges et jaunes. Si pour ces diverses dissolutions on tient compte de l'action de l'eau, on en déduit un nombre constant qui représente, pour le perchlorure de fer anhydre, le rapport des rotations correspondant à des rayons de mêmes longueurs d'onde. On voit par le tableau précédent que les rotations négatives des substances que nous venons de citer suivent une marche notablement différente de celle des rotations positives des corps étudiés plus haut et correspondent à une dispersion rotatoire considérable, caractéristique des corps magnétiques : j'ai montré, du reste, plus haut que ces corps présentent à un autre point de vue des propriétés spéciales.

La grande dispersion rotatoire du perchlorure de fer se met facilement en évidence en prenant une dissolution ayant une très-faible rotation magnétique positive ou négative pour la lumière jaune. Une dissolution de perchlorure de fer dans l'eau, dont la densité est voisine de 1,155, remplit cette condition. On voit alors la même dissolution être positive pour les rayons rouges et négative pour les rayons verts. Cette expérience curieuse montre bien l'indépendance entre l'action de l'eau et l'action du perchlorure de fer sur la lumière polarisée, ainsi que l'inégale dispersion rotatoire de

Digitized by Google

ces deux corps. On peut observer que les rotations négatives des corps que nous avons étudiés croissent approximativement en raison inverse de la quatrième puissance des longueurs d'onde, comme on peut le voir dans le tableau précédent.

Les considérations qui viennent d'être exposées montrent que le phénomène de la rotation magnétique est à la fois fonction de la longueur d'onde de la lumière, de l'indice de réfraction et de la nature des molécules des corps. Comme l'indice de réfraction est pour un même corps lié à la longueur d'onde, on voit que, suivant que l'on tiendra ou que l'on ne tiendra pas compte de cet indice, on pourra donner diverses formes à l'expression approchée de la dispersion rotatoire des corps. L'une des expressions les plus simples satisfaisant aux observations faites jusqu'ici est $\frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda^4}$, a et b étant des coefficients dont le signe et la valeur numérique varient avec les divers corps ; a est grand et positif pour les corps dont la rotation est positive, b est grand et négatif pour les corps dont la rotation est négative.

Conclusion. — Les conclusions de ce travail sont les suivantes :

1° La rotation positive du plan de polarisation d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant l'unité d'épaisseur d'une substance diamagnétique soumise à l'action du magnétisme, est proportionnelle à la fonction $n^2(n^2 - 1)$ de l'indice de réfraction et à un facteur lié au magnétisme et au diamagnétisme des corps. Ce facteur est d'autant plus grand que les corps sont plus diamagnétiques.

2° Pour les corps d'une même famille chimique ou pour les divers composés d'un même radical chimique, le quotient de la rotation magnétique par la fonction $n^2(n^2 - 1)$ de l'indice de réfraction correspondant est un nombre qui varie très-peu.

3° La nature chimique des molécules des corps intervient directement dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique, et, dans une molécule complexe, il peut y avoir indépendance entre les effets produits par les divers éléments qui la composent.

Dans les disolutions il y a indépendance entre l'action du dissolvant et l'action du corps dissous.

4° Les corps diamagnétiques en dissolution ont des pouvoirs

Digitized by Google

rotatoires magnétiques moléculaires sensiblement constants, quelle que soit la concentration des dissolutions.

Les pouvoirs rotatoires magnétiques moléculaires négatifs des corps très-magnétiques croissent au contraire très-vite avec le rapprochement des molécules, dans des dissolutions de plus en plus concentrées, et semblent fonction de l'intensité du magnétisme qui se développe dans les molécules par suite de leurs réactions mutuelles.

5° La dispersion magnétique des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde par les corps très-diamagnétiques est sensiblement proportionnelle à $\frac{n^2(n^2-1)}{\lambda^2}$, λ étant la longueur d'onde et n l'indice de réfraction correspondant.

Pour les corps très-magnétiques ou qui se comportent comme tels avec la lumière polarisée, les rotations négatives croissent approximativement en raison inverse de la quatrième puissance de la longueur d'onde.

On peut, en outre, représenter la dispersion des plans de polarisation de la lumière pour un même corps, par une expression de la forme $\frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda^4}$, a et b variant de grandeur et de signe avec les divers corps ; a est grand et positif pour les corps diamagnétiques, b est grand et négatif pour les corps très-magnétiques.

Ces conclusions viennent à l'appui d'une hypothèse simple qui m'a guidé dans tout ce travail, et qui tendrait à montrer sous une forme nouvelle que les phénomènes magnétiques et diamagnétiques ne constituent pas deux propriétés distinctes des corps, mais sont dus à une cause unique.

On sait que mon père a montré comment on pouvait expliquer les actions magnétiques et diamagnétiques en admettant que les effets observés étaient dus à la différence entre les actions exercées sur les corps et sur le milieu ambiant. Cette théorie implique la seule hypothèse gratuite de supposer que les corps repoussés dans le vide de nos machines sont moins magnétiques que le milieu qui les entoure. On peut admettre que l'éther qui transmet les vibrations lumineuses est lui-même magnétique et plus magnétique que les corps qui seraient repoussés dans le vide le plus parfait de nos

Digitized by Google

machines. Cette hypothèse se concilierait bien avec les observations.

Supposons, en effet, que sous l'influence magnétique les molécules des corps deviennent individuellement de petits aimants présentant des pôles inverses à ceux de l'électro-aimant, à l'action duquel elles sont soumises. Si ces molécules sont environnées d'un milieu magnétique, l'éther, lorsqu'elles seront moins magnétiques que ce milieu, on peut concevoir que l'action de l'aimant extérieur sur l'éther intermoléculaire soit fonction de la densité de cet éther, c'est-à-dire de l'indice de réfraction, et, comme le magnétisme des corps appelés *diamagnétiques* varie dans des limites étroites, cette fonction de l'indice de réfraction ne doit pas être bien différente pour tous les corps diamagnétiques.

Au contraire, si le corps est très-magnétique, l'action individuelle des molécules sur l'éther intermoléculaire prédominera sur celle de l'aimant extérieur, et le sens de la rotation magnétique sera celui de l'orientation des molécules influencées, c'est-à-dire inverse du sens correspondant aux corps diamagnétiques.

Les expériences avec les dissolutions des chlorures de fer confirment encore cette manière de voir en montrant que, si les molécules magnétiques sont assez rapprochées pour réagir les unes sur les autres, l'effet inverse observé est lié à cette réaction mutuelle.

En résumé, ces recherches expérimentales tendent à montrer que les rotations magnétiques directes et inverses des plans de polarisation de la lumière, de même que les phénomènes appelés *diamagnétiques* et *magnétiques* peuvent se rattacher à une origine commune et sont la manifestation d'une propriété générale des corps, celle de devenir magnétiques. Ces divers corps possèdent cette propriété à un degré plus ou moins grand, et les effets observés peuvent être regardés comme dus à une différence entre les actions magnétiques des molécules des corps et celles du milieu qui les enveloppe.

Digitized by Google

Solution analytique du problème de la distribution dans un aimant; par M. J. Jamin.

J'ai précédemment étudié par le contact d'épreuve la loi de distribution du magnétisme dans un faisceau de lames superposées [1]. J'ai trouvé qu'elles gardent toutes un magnétisme égal, c'est-à-dire que le faisceau est uniformément aimanté dans toute sa masse et que la distribution extérieure est donnée par une formule qu'on peut écrire

$$(1)\qquad y = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\left(1 - e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}2l}\right)\left[e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}x} - e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}(2l-x)}\right],$$

A et k étant deux constantes, s, p, $2l$ étant la section, le périmètre et la longueur du barreau. Dans le cas où cette longueur peut être considérée comme infinie, la formule se réduit à

$$(2)\qquad y = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\,e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}x}.$$

Je vais justifier ces résultats par une théorie.

Je ferai remarquer d'abord que, pour établir les lois de la conductibilité calorifique, Fourier n'eut besoin de faire aucune hypothèse sur la nature de la chaleur : il se contenta d'admettre que la quantité de chaleur qui traverse une tranche intra-moléculaire est proportionnelle à la différence de température des molécules que cette tranche sépare. Plus tard, Ohm ne fit que reproduire la même idée pour découvrir les célèbres lois qui portent son nom; il admit que la quantité d'électricité qui passe à travers une section d'un conducteur est proportionnelle à cette section et à la différence de tension. On va voir que ce même principe transporté au magnétisme conduira avec autant de sûreté aux lois de la distribution dans un barreau.

C'est un fait connu que le magnétisme libre, celui que nous mesurons par les attractions qu'il exerce, se transmet de tranche en tranche. Ainsi, quand on place une armature de fer à l'extrémité d'un barreau de même section, une portion de ce magnétisme

---

[1] *Comptes rendus*, t. LXX, p. 1553 et t. LXXI, p. 177.

Digitized by Google

quitte le barreau pour se transporter sur le fer; un état d'équilibre s'établit, et, entre l'acier et le fer, il n'y a qu'une différence de tension infiniment petite dy.

Si donc on considère une section d'un barreau à une distance x de son extrémité, on peut admettre qu'une certaine quantité de magnétisme a été transmise par conductibilité de la distance x à la distance $x + dx$, en prenant des intensités correspondantes y et $y + dy$. J'admettrai, comme l'ont fait Fourier et Ohm dans un autre ordres d'idées, que la quantité de magnétisme M ainsi transmise est proportionnelle à la section s, à la différence des tensions $-dy$ et à un coefficient spécial de conductibilité $\frac{1}{h^2}$.

$$M = -\frac{s}{h^2}dy.$$

On peut dire, pour justifier cette hypothèse, que, si une nouvelle quantité de magnétisme M, s'ajoutant à la première, traversait la tranche considérée, elle déterminerait une nouvelle différence d'intensité dy égale à la première et qui s'ajouterait à elle, de sorte qu'il doit y avoir proportionnalité entre le magnétisme transmis et la différence de tension qui s'établit. On peut dire aussi, d'une manière plus générale, que M est une fonction de dy, qui s'annule en même temps que dy, qu'on peut développer en fonction des puissances croissantes de dy, et qu'on peut ne conserver que le premier terme de ce développement.

On peut dire enfin que les analystes et les physiciens, ayant admis une hypothèse semblable pour l'électricité et la chaleur, ont les mêmes raisons de la considérer comme fondée quand elle se transporte au magnétisme.

Cela étant, reproduisons le raisonnement qu'a fait Fourier pour les barres conductrices.

Prenons deux tranches infiniment voisines placées à des distances de l'extrémité égales à x et à $x + dx$. L'intensité magnétique avant et après la première sera y et $y + dy$; avant et après la seconde, elle sera $y + dy$ et $y + 2dy + \frac{d^2y}{dx^2}dx$; la différence des intensités, pour les points que sépare la première section, sera $-dy$; elle sera $-\left(dy + \frac{d^2y}{dx^2}dx\right)$ pour la seconde; enfin les

Digitized by Google

quantités de magnétisme transmises sont

$$-\frac{s}{k^2}dy, \quad -\frac{s}{k^2}\left(dy+\frac{d^2y}{dx^2}dx\right);$$

leur différence est

$$\frac{s}{k^2}\frac{d^2y}{dx^2}dx.$$

Or cette différence exprime la quantité de magnétisme libre restée entre les deux sections considérées; celle-ci a une intensité moyenne y, elle est répartie sur une surface $p\,dx$, elle est égale à $py\,dx$, et il faut qu'on ait

$$\frac{s}{k^2}\frac{d^2y}{dx^2}=py, \quad \frac{d^2y}{dx^2}=k^2\frac{p}{s}y=a^2y,$$

et, en intégrant,

$$(3) \qquad y=\mathrm{M}e^{ax}+\mathrm{N}e^{-ax}.$$

C'est l'équation de Fourier; elle doit représenter à la fois la température dans une barre chauffée, et l'intensité magnétique dans un barreau.

Pour déterminer les constantes M et N, on commencera par se rappeler que l'intensité magnétique est nécessairement nulle au milieu du barreau à une distance l,

$$0=\mathrm{M}e^{al}+\mathrm{N}e^{-al}, \quad \mathrm{M}=-\mathrm{N}e^{-2al},$$

et, en remplaçant dans l'intégrale générale,

$$(4) \qquad y=\mathrm{N}[e^{-ax}-e^{-a(2l-x)}],$$

ce qui est la forme de fonction établie pour la première fois par Biot. La constante N va se trouver par d'autres considérations. Étudions d'abord le cas d'un aimant de longueur infinie et uniformément aimanté dans sa masse entière, ce qui est le cas de nos faisceaux de lames. Alors la formule (4) se réduit à son premier terme. La totalité du magnétisme se trouvera en prenant l'intégrale de $y\,dx$ depuis zéro jusqu'à l'infini, et en la multipliant par le périmètre p; d'un autre côté, cette totalité sera proportionnelle au nombre de filets magnétiques que renferme le barreau, qui est proportionnel à la section moyenne s; elle peut se représenter par $\mathrm{A}s$.

Digitized by Google

On a donc la relation de condition

$$A s = p \int_0^\infty y\, dx = \frac{pN}{a},$$

d'où

$$N = A \frac{s}{p} a = A k \sqrt{\frac{p}{s}},$$

et l'équation de la distribution devient la suivante, qui est identique à la formule (2) que l'expérience a donnée :

$$(2) \qquad y = A k \sqrt{\frac{s}{p}} e^{-k \sqrt{\frac{p}{s}} x}.$$

Supposons maintenant que la barre d'abord infinie soit coupée à une longueur $2l$, tout le magnétisme qui était contenu dans la barre primitive, depuis $2l$ jusqu'à l'infini, ne pouvant plus s'y loger, se transmettra en sens inverse vers l'origine, et s'y transmettra suivant la même loi : ce sera comme s'il se réfléchissait sur lui-même; c'est ce que l'expérience a démontré. Par conséquent, la courbe du magnétisme austral sera

$$y = A k \sqrt{\frac{s}{p}} [e^{-ax} + e^{-a(4l-x)}].$$

Mais, d'autre part, la courbe de magnétisme contraire, partant de l'extrémité $x = 2l$, sera, au signe près, égale à la précédente, et son équation se trouvera en remplaçant x par $2l - x$,

$$y_1 = A k \sqrt{\frac{s}{p}} [e^{-a(2l-x)} + e^{-a(2l+x)}].$$

La différence $y - y_1$ représentera l'état magnétique de la lame; elle est égale, en remplaçant a par sa valeur et en réduisant, à l'expression

$$y - y_1 = A k \sqrt{\frac{s}{p}} \left(1 - e^{-k \sqrt{\frac{p}{s}} 2l}\right) \left[e^{-k \sqrt{\frac{p}{s}} x} - e^{-k \sqrt{\frac{p}{s}} (2l - x)}\right],$$

qui est identique à la formule (1), que j'ai expérimentalement établie.

Digitized by Google

Supposons que la barre soit un cylindre de rayon r, $\sqrt{\frac{p}{s}}$ devient égal à $\sqrt{\frac{2}{r}}$. Posons $k\sqrt{2} = \mathrm{B}$, et nous aurons

$$(5) \qquad y = \frac{\mathrm{AB}}{2}\sqrt{r}\left(1 - e^{\frac{\mathrm{B}}{\sqrt{r}}2l}\right)\left[e^{-\frac{\mathrm{B}}{\sqrt{r}}x} - e^{-\frac{\mathrm{B}}{\sqrt{r}}(2l-x)}\right].$$

Nous avons supposé que la quantité de magnétisme qui passe de x à $x + dx$ est proportionnelle à la différence de tension dy. On pourrait admettre qu'elle est proportionnelle à la fois à dy et au périmètre de la barre; elle serait alors au lieu de $\frac{s}{k^2}dy$, égale à $\frac{s}{k^2}p\,dy$, ce qui reviendrait à dire que le coefficient k^2 n'est point constant, mais qu'il est en raison inverse de p.

Posons $k^2 = \frac{\pi \mathrm{B}^2}{p}$, et l'équation (2) devient, en supposant la barre cylindrique,

$$(6) \qquad y = \frac{\mathrm{AB}}{2}\left(1 - e^{-\frac{\mathrm{B}}{r}2l}\right)\left[e^{-\frac{\mathrm{B}}{r}x} - e^{-\frac{\mathrm{B}}{r}(2l-x)}\right].$$

Or Biot, en s'appuyant sur des considérations tout autres et s'aidant des expériences de Coulomb, a établi autrefois une formule qui ne diffère pas sensiblement de la précédente, et que Green a retrouvée par une analyse plus générale. Cette formule diffère de la mienne en ce que $\mathrm{B}\sqrt{r}$ est remplacé par B. Il est certain qu'elle ne représente pas les intensités telles qu'on les mesure avec le contact d'épreuve; car, si l'on suppose la barre infinie, elle donne à l'extrémité $x = 0$ une intensité $\frac{\mathrm{AB}}{2}$ qui est constante et indépendante du rayon, ce qui est contraire à toutes les expériences. La mienne donne, au contraire, $y = \frac{\mathrm{AB}}{2}\sqrt{r}$, qui croît avec r, comme l'expérience le prouve.

Cependant Biot a établi sa formule d'après les expériences de Coulomb, mais en déterminant les coefficients par la mesure des moments magnétiques, et M. Bouty a fait sur ce sujet un très-grand nombre de vérifications, d'où il faut conclure que la formule (5) exprime les racines carrées des forces d'arrachement et que l'ex-

Digitized by Google

pression (6) conduit au calcul exact des moments mesurés à distance, comme l'a fait Coulomb. M. Bouty croit avoir trouvé les raisons de cette différence en développant les idées que j'ai précédemment émises sur la conductibilité magnétique : je lui cède la parole.

Sur la théorie du contact d'épreuve; par M. Bouty.

M. Jamin représente les *tensions* magnétiques y aux divers points de barres aimantées saturées, par une formule qui, dans le cas de barres cylindriques de longueur infinie, se réduit à

$$(1) \qquad y = \frac{AB}{2}\sqrt{r}\, e^{-\frac{B}{\sqrt{r}}x}.$$

r est le rayon de la barre, A et B sont les deux constantes.

D'autre part, les expériences de Coulomb ont conduit Biot à représenter les quantités de magnétisme z, que les mêmes barres possèdent, par la formule

$$(2) \qquad z = \frac{A'B'}{2} e^{-\frac{B}{r}x},$$

qui ne peut être identifiée avec la formule (1) pour des valeurs quelconques de r.

La différence des méthodes de mesures, fondées d'une part sur l'action au contact, d'autre part sur la détermination des moments magnétiques, ne suffit pas à rendre compte de la divergence des deux formules. Le but de cette Note est de l'expliquer par des raisons théoriques.

Je me servirai de l'analogie qui est la base de la théorie présentée aujourd'hui par M. Jamin, et je l'appliquerai aux quantités de magnétisme. Quand l'équilibre s'établit entre une barre aimantée et un contact de fer doux qui la touche en un de ses points, les quantités de magnétisme aux divers points du système seront distribuées comme le seraient les températures sur un système identique de deux barres de conductibilité différente. Préoccupons-nous

Digitized by Google

seulement de la quantité de chaleur qui traverserait, dans cette hypothèse, la surface de contact. Celle-ci représente la quantité de magnétisme dissimulée de part et d'autre de la surface d'adhérence, pour reparaître sur la surface extérieure du fer doux. La tension magnétique, égale par définition à la racine carrée de la force d'arrachement, est mesurée par cette quantité de magnétisme, ou par ce flux de chaleur.

Considérons, dans la barre et dans le fer doux réduit à un simple fil perpendiculaire à la surface de l'aimant, deux surfaces isothermes (isomagnétiques) infiniment voisines, séparées par la surface de contact. Soient σ l'étendue de cette surface, c et c' les quantités qui, dans la barre et dans le fil, jouent le rôle des coefficients de conductibilité. La surface σ reçoit de la barre une quantité de chaleur $-c\sigma\frac{du}{dx}$, en désignant par dx la distance normale à la surface isotherme considérée; elle rayonne de même vers la première surface isotherme de contact $-c'\sigma\frac{du'}{dx'}$, et il faut pour l'équilibre que l'on ait

$$c\frac{du}{dx}=c'\frac{du'}{dx'}; \tag{3}$$

et, comme la quantité de chaleur prise par le contact est négligeable, on a aussi

$$u=u'=z. \tag{4}$$

La quantité $-c\frac{du}{dx}$ mesure la tension au point considéré. Rien n'autorise *a priori* à la confondre avec la quantité z.

La distinction des quantités de magnétisme et des tensions est donc parfaitement établie. Ce sont des grandeurs d'ordre différent; mais il pourra paraître utile de déduire la formule (1) des tensions de la formule (2) des quantités sans chercher à résoudre complétement le problème théorique d'où dépend la solution.

Je me bornerai à présenter, à cet égard, les observations suivantes :

1° La quantité c, qui joue le rôle du coefficient de conductibilité des quantités dans une barre cylindrique de diamètre a, est proportionnelle à ce diamètre. Pour s'en convaincre, il suffit d'i-

Digitized by Google

dentifier la formule (2) à celle qui se rapporte à la conductibilité de la chaleur dans une barre de même section.

2° Bien que l'on ait $u = z$, on n'a certainement pas $\frac{du}{dx} = \frac{dz}{dx}$. La quantité $\frac{dz}{dx}$ est proportionnelle au rayonnement qui s'établit entre deux plans parallèles, infiniment voisins, c'est-à-dire est relative à la propagation s'effectuant dans un sens seulement, de telle sorte qu'une molécule n'a proprement à fournir qu'à une seule molécule. Le coefficient $\frac{du}{dx}$ au voisinage immédiat du contact correspond au contraire à une propagation s'effectuant dans tous les sens; une surface isotherme fournit à une surface d'étendue moindre, et ainsi de suite, jusqu'à zéro. En dehors de tout calcul rigoureux, il semble naturel d'admettre que, si la quantité de chaleur fournie dans le cas de la propagation à une dimension est représentée par une certaine fonction d'un seul paramètre, la quantité fournie dans le cas de la propagation dans tous les sens, à partir d'un point de la surface, est égale à la même fonction de la racine carrée de ce paramètre. On a, d'après (2),

$$(4) \qquad -\frac{dz}{dx} = \frac{A'B'^2}{2r} e^{-\frac{B'}{r}x}.$$

On aurait donc, en désignant par p une constante convenable,

$$(5) \qquad -\frac{du}{dx} = \frac{pA'B'^2}{2\sqrt{r}} e^{-\frac{B'}{\sqrt{r}}x};$$

enfin la tension y serait

$$(1\ ter) \qquad y = -c\frac{du}{dx} = m\sqrt{r}A'B'^2 e^{-\frac{B'}{\sqrt{r}}x}.$$

Cette dernière formule est identique à la formule (1) en posant

$$(6) \qquad \begin{cases} mA'B' = A, \\ B' = B. \end{cases}$$

La théorie du contact d'épreuve, telle que nous venons de l'exposer, indique les limites dans lesquelles la méthode employée pour la mesure des tensions est applicable. Les dimensions trans-

Digitized by Google

versales du contact doivent être assez petites par rapport à la section de la barre que l'on étudie pour que la quantité de magnétisme qu'il enlève soit négligeable. Les tensions mesurées seront indépendantes de la forme de la section du contact, mais dépendront essentiellement de sa nature. On ne pourra comparer les tensions observées avec le même contact sur deux corps différents, comme le fer et l'acier, qu'à la condition de multiplier l'une d'elles par un coefficient convenable, ainsi que M. Jamin l'a fait observer le premier.

La considération des tensions se présente beaucoup plus simplement que celle des quantités de magnétisme quand on étudie les actions au contact. Il y a donc lieu de conserver dans la Science les deux expressions et de poursuivre par des méthodes différentes l'étude des lois qui régissent les deux ordres de phénomènes.

SÉANCE DU 21 AVRIL 1876.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

PREMIÈRE PARTIE.

La première partie de la séance a été consacré à la répétition des principales expériences faites dans le courant de l'année. Dans le local de la Société avaient été disposés d'avance les expériences et les appareils ; les auteurs donnaient les explications qui leur étaient demandées :

Entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur; M. de Romilly.
Mouvement des ondes liquides dans les tubes élastiques; M. Marey.
Appareils de vol mécanique; M. Pénaud.
Nouveau tube spectro-électrique; MM. Delachanal et Mermet.
Expériences sur la conductibilité des minéraux; M. du Moncel.
Manomètre, M. Cailletet.
Galvanomètre pour projections.—Appareil de polarisation; M. Duboscq.
Aimants; M. Jamin.
Appareil photométrique de MM. Dumas et Regnault; M. Deleuil.
Expériences avec les électro-diapasons; M. Mercadier.

Digitized by Google

Expériences sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés ; M. Jannettaz.

Vernis nouveaux pour photomètres et tracé de figures sur verre; M. Terquem.

Thermomètre à minima; M. Duclaux.

Réseaux ; M. Cornu.

Boussole ; M. Froment-Dumoulin.

Machine Gramme; M. Niaudet.

Expérience de Thermodynamique; M. F. Tommasi.

DEUXIÈME PARTIE.

Sont élus membres de la Société: MM. Gaugain, à Saint-Martin-des-Entrées, par Bayeux (Calvados); Jablochkoff, ingénieur à Moscou ; Laroche, ingénieur des Ponts et Chaussées ; Mors, ingénieur, fabricant d'appareils électriques; de Sourdeval; Tommasi (Ferdinando), ingénieur.

La Société adopte ensuite un article additionnel aux Statuts qui est présenté par le Conseil:

Les statuts ne pourront être modifiés qu'après deux délibérations du Conseil. Les modifications proposées devront être annoncées un mois d'avance à la Société et seront mises aux voix à la séance générale de Pâques.

M. Violle expose les résultats de ses expériences sur la radiation solaire, et fait voir l'actinomètre dont il s'est servi pour faire ses observations à des hauteurs différentes sur le mont Blanc et au glacier des Bossons.

M. Trannin fait connaître le procédé qu'il a employé pour mesurer les intensités des sources lumineuses en ne comparant entre elles que les régions de même réfrangibilité, et rend compte de la précision que comportent les mesures, soit que l'on compare entre elles des radiations jaunes, soit lorsqu'on opère sur les rayons rouges ou bleus.

M. Terquem fait connaître un moyen simple d'étudier les figures de M. Lissajous, caractéristiques des divers intervalles musicaux, lorsqu'on donne à la différence de phase des deux mouvements une valeur quelconque.

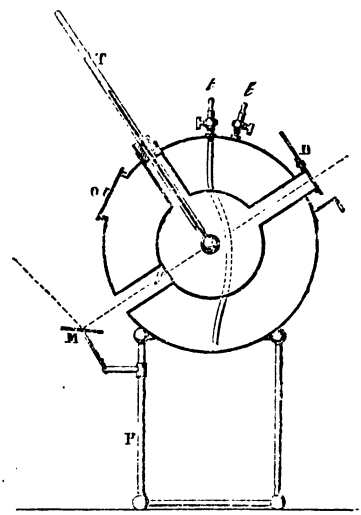
La séance est levée à 11 heures.

Digitized by Google

De la température du Soleil; par M. J. Violle.

La quantité de chaleur que le Soleil envoie vers la Terre s'évalue par l'échauffement d'un thermomètre soumis à l'action des rayons solaires. Mais, pour que la mesure de la quantité cherchée soit exacte, il faut que l'échauffement se produise dans des conditions parfaitement déterminées; à cet égard on ne saurait mieux faire que d'adopter absolument les dispositions indiquées par Dulong et Petit dans leur Mémoire sur le rayonnement. C'est ce que je me suis efforcé de faire.

Fig. 1.



Le thermomètre que j'emploie est à réservoir sphérique : le diamètre de la boule varie, suivant les cas, de 5 à 15 millimètres; la tige cylindrique et d'un diamètre intérieur constant s'étrangle extérieurement au voisinage de la boule sur une longueur de 10 à 15 millimètres, de manière à réduire autant que possible l'influence de la conductibilité; les divisions sont de $\frac{1}{5}$ de degré : les lectures se feront donc toujours au $\frac{1}{10}$ de degré dans les circonstances les plus défavorables. Avant chaque expérience, la boule et la portion étranglée de la tige sont soigneusement noircies à la fumée d'une flamme de térébenthine. Le thermomètre T (*fig.* 1) est alors introduit dans une enceinte sphérique en cuivre, recouverte intérieurement de noir

Digitized by Google

de fumée et maintenue à une température constante. Cette enceinte, dont le rayon est de 15 à 45 fois celui du thermomètre, est en effet enveloppée d'une deuxième sphère en cuivre polie sur sa face externe et protégée en outre par des écrans D qui laissent libre seulement l'ouverture d'admission. Dans l'espace compris entre les deux surfaces circule un courant d'eau, emprunté aux fontaines publiques, ou bien s'entasse de la glace pilée ou du névé, suivant les circonstances : deux tubes à robinet *t* et *t'* et une large ouverture à vis O satisfont à l'un ou à l'autre usage. Le rayonnement solaire arrive à la boule thermométrique par une ouverture tubulaire pratiquée dans la double paroi de l'appareil et munie d'un diaphragme à trous de différentes grandeurs : une autre ouverture diamétralement opposée est fermée par un verre dépoli *g* et légèrement noirci, sur lequel se projette l'ombre du thermomètre, ce qui permet un réglage facile de la boule thermométrique au centre même de l'enceinte. Tout l'instrument repose sur un anneau porté lui-même par quatre pieds ; sur l'un des pieds est articulé un petit miroir M dans lequel se réfléchit l'ombre du thermomètre. L'opérateur peut donc toujours maintenir l'appareil orienté en le faisant graduellement tourner dans l'anneau qui le supporte. On peut aussi se guider, comme dans les héliostats, sur la position de la trace lumineuse du rayon qui a passé par le trou central d'un petit diaphragme monté à l'extrémité d'une tige parallèle au tube d'admission. Ajoutons enfin que cet actinomètre peut se transporter facilement sur les cimes les plus élevées. Le pied se démonte et se loge sous un très-faible volume dans le sac de voyage ; les robinets d'arrivée et de sortie de l'eau servent à attacher une courroie au moyen de laquelle la double boule se porte sur le côté à la manière d'une gourde.

La marche d'une expérience est la suivante : tous les tubes étant soigneusement fermés et le thermomètre en place, on lit la température (laquelle est stationnaire si tout est bien réglé depuis un temps suffisant); puis on ouvre le tube d'admission, après avoir amené en face du tube tel trou du diaphragme que l'on juge convenable. L'appareil étant toujours exactement orienté, on suit la marche du thermomètre avec une montre à secondes, jusqu'à ce que la température soit devenue stationnaire; on supprime alors les rayons solaires par un jeu convenable du diaphragme, et l'on observe le refroidissement de l'appareil.

Digitized by Google

Je prendrai pour exemple les mesures actinométriques que j'ai effectuées au sommet du mont Blanc (4810^m) le 16 août dernier. Elles se résument, pour les deux phases de l'expérience, par une seule formule empirique

$$\theta = \theta_0 (1 - e^{-0,361t}),$$

θ_0 étant la température stationnaire $18^0,2$ observée à $10^h 22^m$ du matin : l'enceinte était à zéro. L'écart moyen entre les nombres directement observés et les nombres calculés par la formule est $0^0,03$, l'écart maximum $0^0,16$.

Soient V la vitesse du réchauffement que le thermomètre éprouve à la température θ sous l'action des rayons incidents et U la vitesse de refroidissement qu'il aurait à cette même température θ si l'on interceptait l'action de la source; d'après la forme même de notre formule empirique et la fidélité avec laquelle elle représente les données immédiates de l'observation, on a

$$V + U = \text{const.}$$

M. Desains a remarqué qu'il devait en être ainsi; en outre, ajoute-t-il, « cette somme constante représente l'action de la source, et, si on la multiplie par la valeur en eau de la portion du thermomètre qui s'échauffe, on a l'expression numérique de la quantité de chaleur qui tombe par l'ouverture d'admission. » (*Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 1455; 1874.)

La valeur M de la portion du thermomètre qui s'échauffait a été déterminée avec beaucoup de soin : on l'a mesurée directement par des expériences de refroidissement, indirectement sur un thermomètre tout semblable à ceux employés et rompu à la naissance de la tige; on a trouvé dans les deux cas

$$M = 0^{gr},222.$$

La quantité de chaleur reçue en une minute par 1 centimètre carré de surface au sommet du mont Blanc, le 16 août 1875, à $10^h 22^m$ du matin, était donc $\frac{(V + U)\,0,222}{s}$, s désignant la surface d'un grand cercle de la boule du thermomètre; ce qui donne, V + U étant égal à $6^0,552$,

$$q = 2^u,392.$$

Ce nombre doit être considéré comme la *mesure absolue* du rayonnement solaire au point et à l'instant considérés, les unités adop-

Digitized by Google

tées étant le centimètre, le gramme, la minute et le degré centigrade.

Tandis que j'étais au sommet du mont Blanc avec mon préparateur, M. Rigollot, qui m'a aidé dans toutes ces recherches avec un zèle et un dévouement absolus, M. Margottet effectuait au glacier des Bossons (1200^m) des mesures analogues à celles que nous prenions au sommet. Ces mesures se résument également par une exponentielle où le coefficient de t est égal à 0,40; l'erreur moyenne entre le calcul et l'observation est $0^\circ,02$, l'erreur maxima $0^\circ,16$. On a donc encore

$$V + U = \text{const.}$$

et cette constante est ici égale à $5^\circ,540$, l'excès stationnaire observé à $10^h 22^m$ étant $13^\circ,85$. On en déduit

$$q = 2^u,022.$$

Le lendemain, 17 août, j'étais aux Grands-Mulets (3050^m), presque exactement à moitié chemin de la distance comprise entre la cime et la station choisie par M. Margottet sur le glacier des Bossons. Les observations que j'y fis et celles qui furent recueillies au pied de la montagne donnent à $10^h 40^m$ du matin :

Aux Grands-Mulets..... $q = 2,057$
Aux Bossons..... $q = 1,864$

Les valeurs de l'excès stationnaire avaient été respectivement $16^\circ,10$ et $13^\circ,1$ et les coefficients de t dans l'exponentielle par laquelle se représentent toujours aussi fidèlement les résultats 0,35 et 0,38.

L'air était plus humide, par suite les excès moindres et le refroidissement plus lent que la veille.

$V + U = \tau$ est, dans chaque cas, l'excès qu'accuserait au bout d'une minute sous l'influence de la radiation solaire le thermomètre entièrement soustrait au refroidissement. D'après la formule de Bouguer, admise par Pouillet, on devrait avoir

$$\tau = ap^\varepsilon,$$

a étant la constante solaire, ε l'épaisseur de la couche d'air traversée par les rayons et p un paramètre dépendant de l'état de l'atmosphère au jour considéré.

Digitized by Google

Cette formule suppose essentiellement que les conditions météorologiques de l'atmosphère sont restées les mêmes pendant toute la journée d'observation, ce qui ne doit se présenter que très-rarerement et ce que l'on n'a aucun moyen de reconnaître avec certitude, puisqu'il ne s'agit pas ici de l'état de l'atmosphère au niveau du sol, mais bien de l'état de toute la colonne d'air traversée par les rayons solaires, depuis les limites de l'atmosphère jnsqu'à la terre, Aussi Pouillet, dans une série de mesures s'étendant à plusieurs années, ne trouve-t-il que quelques rares journées pour lesquelles la formule représente bien les faits.

Des observations, antérieures à celle que je viens de rapporter, m'ont conduit à substituer à la formule de Bouguer celle-ci,

$$\tau = ap^{\frac{H+(Z-z)Kf_e}{760}},$$

qui se réduira à la précédente si la hauteur H du baromètre et la tension moyenne de la vapeur d'eau dans toute la colonne atmosphérique ne changent pas sensiblement dans la journée entière. Dans ma formule, p est un nombre constant, z l'altitude du point considéré, Z l'altitude de la couche à partir de laquelle l'air peut être considéré comme absolument sec, K une constante.

Les expériences précédemment citées, rapprochées des données météorologiques aux lieux et heures considérés, suffisent à déterminer les constantes de la formule ; on en déduit les valeurs de a et de Q

$$a = 6^{\circ},958,$$

d'où

$$Q = 2^{u},540,$$

Q désignant la quantité de chaleur tombant pendant une minute sur 1 centimètre carré à la limite de l'atmosphère. La même valeur a été trouvée dans des expériences faites sur divers sommets des Alpes du Dauphiné.

On trouve de même pour les quantités de chaleur reçues par une même surface de 1^{cq} en une seconde aux diverses altitudes :

A la Cime du mont Blanc.....	2,392
Aux Grands-Mulets.....	2,262
Au glacier des Bossons.....	2,022
Au niveau de Paris.....	1,745

Ainsi le 16 août 1875, à $10^{h}\,22^{m}$ du matin, Paris ne recevait

Digitized by Google

guère que les $\frac{2}{3}$ de la chaleur que lui envoyait le Soleil ; et, dans l'absorption exercée par l'atmosphère, l'effet dû à la vapeur d'eau était presque cinq fois plus considérable que celui de l'air lui-même, si notre formule est exacte.

Un thermomètre placé dans le vide et soumis par conséquent à la seule influence du rayonnement arriverait au bout d'un certain temps à un excès stationnaire, indépendant de l'instrument employé et facile à calculer quand on connaît la vitesse de refroidissement du thermomètre dans le vide. Cette vitesse pour notre thermomètre est $0,22\theta$: l'excès observé dans le vide à la limite de l'atmosphère aurait donc été, l'enceinte maintenue à zéro,

$$\Theta = 31^{\circ},63.$$

On trouve de même :

	Valeur de Θ.
A la cime du mont Blanc.....	29,78
Aux Grands-Mulets.....	28,18
Au glacier des Bossons.....	25,18
Au niveau de Paris.....	21,73

Ces nombres sont évidemment proportionnels aux valeurs déjà citées plus haut ; et le coefficient de proportionnalité, indépendant des instruments employés, est, d'après les nombres précédents, égal à 13 environ. Je dois ajouter toutefois que la valeur exacte de ce coefficient est probablement un peu plus élevée, toutes les causes d'erreur tendant à faire trouver pour Θ des nombres trop faibles.

La température du Soleil se déduit immédiatement des recherches précédentes si l'on admet la loi de Dulong et Petit sur le rayonnement. On trouve ainsi, pour la température effective du Soleil, 1500 degrés (j'appelle température effective du Soleil la température qu'il devrait posséder, s'il était doué du pouvoir émissif maximum, pour émettre une quantité de chaleur précisément égale à celle qu'il nous envoie).

Mais ce calcul de la température effective est fondé sur la loi de Dulong et Petit, et, dans ces dernières années, plusieurs physiciens ont nié cette loi pour les températures élevées, c'est-à-dire pour le cas même qui nous occupe. Remarquons, cependant, que Dulong et Petit ont vérifié l'exactitude de leur loi jusqu'à la plus haute température qu'ils aient réalisée (300 degrés), et que, par conséquent, il

Digitized by Google

est assez naturel d'admettre cette loi pour toute température, jusqu'à ce que des expériences directes nous aient fait connaître le mécanisme du rayonnement des sources à haute température. Ces expériences, je les ai entreprises, mais je ne suis pas encore en mesure de me prononcer sur une question aussi difficile.

A défaut d'expériences directes, je puis toutefois, dès maintenant, invoquer deux séries de recherches par lesquelles j'ai tenté de contrôler l'évaluation relativement basse de la température solaire à laquelle on arrive par l'application de la loi de Dulong et Petit.

Je citerai, en premier lieu les mesures par lesquelles j'ai cherché à vérifier si une source de chaleur terrestre donnerait avec mon appareil un effet comparable à celui que produit le Soleil. Ces mesures ont été faites à Allevard; la source de chaleur était la coulée d'acier d'un four Martin-Siemens. Je me suis trouvé à Allevard à une époque où, en vue de la fabrication de ces énormes roues dont on munit maintenant les locomotives à grande vitesse, la coulée qui se renouvelait toutes les douze heures se partageait seulement en cinq ou six temps, employés chacun à remplir un moule de 500 kilogrammes. Le remplissage d'un pareil moule demandait environ $1^m 30^s$; je pouvais donc faire arriver sur l'actinomètre pendant un temps connu, une minute, la radiation de la veine liquide incandescente qui s'échappait verticalement d'un orifice carré placé au-dessus du moule. Les différentes mesures que j'ai faites pendant deux journées consécutives étant parfaitement concordantes, je ne citerai qu'une seule observation, qui m'a fourni, l'appareil fermé, 14°,4 et, l'appareil ouvert à la radiation, 15°,7. De ces données on tire facilement

$$\alpha^x = 3500 \quad \text{et, par suite,} \quad x = 1063^\circ,$$

α^x étant la radiation de la surface incandescente et x ce que j'ai appelé la *température effective*, c'est-à-dire la température que devrait posséder le corps pour que, doué d'un pouvoir émissif égal à l'unité, il rayonnât avec la même intensité que celle avec laquelle il rayonne réellement.

Or la température vraie, le métal ayant déjà coulé depuis sa sortie sur une longueur d'environ $0^m,50$, peut être évaluée avec une très-grande approximation à 1500 degrés. Appelons T cette

Digitized by Google

température, on aurait, en désignant par E le pouvoir émissif de l'acier en fusion,

$$E\alpha^T = \alpha^x, \quad \text{d'où} \quad E = 0{,}037,$$

valeur parfaitement admissible d'après les expériences de MM. de la Provostaye et Desains. Cette valeur est d'ailleurs confirmée par ce fait que, si nous supposons à la fonte en fusion précisément ce même pouvoir émissif, les mesures directes que j'ai faites sur la coulée de fonte du haut-fourneau d'Allevard donnent pour cette fonte, à 1 mètre environ du trou de coulée,

$$x = 832^\circ \quad \text{et} \quad T = 1300^\circ,$$

ce qui est bien d'accord avec les nombres de M. Grüner. Tous ces calculs étant basés sur l'hypothèse de la constance de α dans l'expression $M\alpha^T$ de l'intensité du rayonnement, cet accord ne paraîtra pas sans doute sans importance au point de vue de l'exactitude de la loi de Dulong aux températures élevées.

Il est facile de vérifier que les résultats obtenus avec le Soleil d'une part et l'acier en fusion d'autre part sont bien entre eux dans le rapport qu'exigent mes idées sur la température du Soleil. Sans recourir à aucun calcul et en empruntant seulement aux expériences sur la radiation solaire l'une d'entre elles, à la date du 6 septembre 1874, $2^h\ 15^m$, dans laquelle le thermomètre est monté en une minute de $4^\circ{,}2$, on voit que dans le même temps, une minute, le thermomètre accuse sous l'influence du rayonnement solaire un excès de température environ trois fois et demie plus considérable que celui dû à l'action de l'acier au sortir du four Martin-Siemens; et, si l'on admet entre l'intensité d'une radiation et son effet actinométrique une proportionnalité qui ne peut pas être bien éloignée de la vérité, tant que l'on se renferme entre des limites suffisamment étroites, on peut déterminer immédiatement la température qu'il faudrait attribuer à la surface du Soleil pour qu'elle donnât lieu à une radiation trois fois et demie plus intense que celle de l'acier à 1500 degrés. On trouve ainsi, dans l'hypothèse d'un pouvoir émissif maximum, comme *température effective* du Soleil, 1600 degrés environ, c'est-à-dire un nombre presque rigoureusement égal à celui que j'ai été conduit à admettre comme résultat des mesures directes de la chaleur solaire.

Digitized by Google

Si maintenant, nous rappelant le fait extrêmement important, mis en évidence par M. Hirn, de la grande transparence des gaz incandescents, nous supposons que la surface du Soleil rayonne comme un bain de métal en pleine fusion, les expériences précédentes nous fourniront le moyen d'obtenir avec une certaine exactitude la température de ce bain métallique. Nous en avons pu déduire, en effet, pour l'un des métaux les plus importants du globe solaire, le pouvoir émissif déterminé, sinon peut-être avec une très-grande précision, du moins (ce qui est surtout important pour le but spécial que nous poursuivons en ce moment) dans les conditions mêmes d'expérimentation adoptées pour l'étude de la radiation solaire. Si l'on accepte cette détermination comme donnant une valeur probable du pouvoir émissif de la surface du Soleil, on aura pour la température moyenne vraie de cette surface $T = 2000^{\circ}$ en nombre rond.

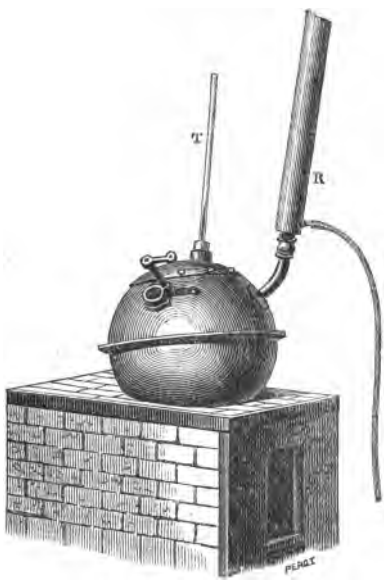
Mais le pouvoir émissif moyen de la surface solaire est encore inférieur à 0,04 ; d'après les expériences auxquelles j'ai fait allusion plus haut, je suis conduit à l'estimer sensiblement moindre; cette évaluation nouvelle conduit à $T = 2500^{\circ}$. Ce chiffre 2500 degrés doit être très-voisin de la vérité, parce qu'une variation même considérable du pouvoir émissif (une variation du simple au double par exemple) n'entraîne à ces hautes températures qu'une variation insignifiante du nombre de degrés obtenus. Nous resterons donc toujours forcément en face d'une température moyenne sensiblement égale à 2500 degrés. J'insiste sur ce mot de température moyenne, parce que c'est la température moyenne seule que j'ai essayé de déterminer, et que certains points de la surface du Soleil peuvent parfaitement être à une température notablement plus élevée, de même que les volcans en ignition constituent à la surface de notre globe des régions dont la température est bien supérieure à la température moyenne de la croûte terrestre. C'est donc la température moyenne du Soleil que je dis être de 2500 degrés, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que celles que nous savons produire sur notre globe.

Les éléments constitutifs du Soleil étant d'une manière générale les mêmes que ceux de notre planète, tout esprit non prévenu admettra volontiers qu'en effet la température du Soleil soit compa-

Digitized by Google

rable à celle des sources terrestres. Cette proposition, d'ailleurs, est directement vérifiable par l'expérience. Il suffira, comme l'a indiqué M. Waterston, de faire varier la température de l'enceinte dans laquelle se trouve le thermomètre soumis à la radiation solaire. Si la température du Soleil est infiniment grande par rapport à celles dont nous pouvons disposer, l'excès accusé par le thermomètre restera constant. Si, au contraire, la température du

Fig. 2.



Soleil est comparable à celle des sources terrestres, l'excès thermométrique sera d'autant plus faible que la température de l'enceinte sera elle-même plus élevée ; en particulier, l'action du Soleil sur le thermomètre n'amènerait plus aucune augmentation dans le nombre de degrés marqués par l'instrument, si l'enceinte avait déjà la température du Soleil.

J'ai donc opéré dans un appareil à double enveloppe comme celui de la *fig.* 1, porté à des températures élevées (*fig.* 2), et, contrairement à ce qui devrait se passer dans le cas d'une température infinie du Soleil, j'ai vu décroître la valeur absolue de l'excès indiqué par l'instrument au fur et à mesure que j'élevais la température de l'enceinte. Le décroissement, toutes réserves faites sur la variation des

Digitized by Google

chaleurs spécifiques, est déjà très-sensible pour des températures de 100 à 150° seulement; et le calcul appliqué à ces nouvelles expériences nous ramène encore à la même valeur 2500° de la température moyenne de la surface du Soleil.

Il faut donc de toute nécessité renoncer à ces millions de degrés par lesquels plusieurs physiciens croyaient encore récemment pouvoir représenter la température du Soleil, et se ranger à l'idée d'un soleil chaud de quelques milliers de degrés seulement. Telle est, du moins je l'espère, la conclusion que l'on tirera de cet ensemble de recherches par lesquelles j'ai tâché, en multipliant les expériences et variant les méthodes, de hâter la solution de ce difficile mais séduisant problème de physique cosmique.

Appareil pour démontrer les propriétés principales des courbes acoustiques; par M. A. Terquem.

Les propriétés géométriques des courbes dues à la coexistence de deux mouvements vibratoires perpendiculaires ont été étudiées par MM. Lissajous et Melde. M. Lissajous a, en outre, fait remarquer qu'on peut remplacer l'un des mouvements vibratoires (supposés pendulaires) par un mouvement de rotation uniforme sur une circonférence, l'autre mouvement pendulaire concomitant s'exécutant suivant la perpendiculaire au plan de cette circonférence menée par le centre de cette dernière.

Pour trouver le mouvement résultant du mouvement de rotation et du mouvement rectiligne, on peut admettre que ce dernier s'effectue suivant les génératrices du cylindre ayant la circonférence pour base, et, par suite, la molécule vibrante ferait, pendant le même temps, *m fois le tour du cylindre* tout en exécutant *n oscillations à sa surface.* On obtient ainsi une courbe tracée à la surface du cylindre que je désignerai *sous le nom de courbe cylindrique* et dont la projection sur l'un des plans diamétraux du cylindre reproduit la courbe plane due à la composition des deux mouvements vibratoires. Or la forme de cette dernière courbe dépend des nombres m et n des vibrations simultanées et de la différence de leurs phases, tandis que la courbe cylindrique est indé-

Digitized by Google

pendante de cette dernière quantité; on obtient en effet toutes les courbes planes dues aux différences de phases, en projetant la courbe cylindrique successivement sur tous les plans diamétraux du cylindre. Si l'on étudie les propriétés géométriques de la courbe cylindrique, on pourra en déduire, plus facilement que par les méthodes indiquées, les propriétés des courbes planes. Je me contenterai, dans cet exposé, de résumer les propriétés principales des courbes cylindriques et des courbes planes, étudiées avec plus de détail dans un autre travail.

1. *Propriétés des courbes cylindriques.* — Si la molécule fait n oscillations sur la surface du cylindre parallèlement à son axe, la courbe cylindrique est formée de n parties identiques, quel que soit le nombre m des rotations exécutées dans le même temps.

2. Chacune de ces parties ou figure élémentaire peut être tracée sur la surface développée du cylindre, en divisant une sinussoïde en m parties par des ordonnées équidistantes et faisant glisser ces segments de courbe parallèlement à eux-mêmes, de manière à les renfermer entre deux ordonnées voisines.

3. La génératrice passant par le milieu de chaque figure élémentaire est un axe de symétrie ainsi que celles qui la limitent.

4. Si m ou le nombre des rotations est pair, la figure élémentaire est composée de deux parties symétriques par rapport à la circonférence de base de cylindre.

5. Si m est impair, il n'en est plus de même; mais il y a dans chaque figure élémentaire des centres, aux points $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de la partie de la circonférence de base renfermée dans la figure élémentaire (supposée développée). De ces propriétés on déduit, par des considérations géométriques de la plus grande simplicité, les propriétés suivantes des courbes planes, déjà indiquées pour la plupart dans les travaux antérieurs.

Propriétés des courbes planes. — Les équations des deux mouvements perpendiculaires qui se composent sont

$$x = a \cos 2\pi\, m\,(t + \delta) = a \cos 2\pi\,(mt + \Delta),$$
$$y = b \cos 2\pi\, nt;$$

avec m, $\delta = \Delta$.

Digitized by Google

1. La différence de phase δ ne doit varier que de zéro à $\frac{1}{n}$ ou Δ de zéro à $\frac{1}{mn}$ pour reproduire toutes les figures dues à la composition des deux mouvements vibratoires.

2. La courbe est renfermée dans un rectangle dont les côtés sont parallèles à l'axe des x et des z; il y a n contacts sur les côtés parallèles à l'axe des x et m sur les côtés parallèles à l'axe des z.

3. Dans toutes les figures correspondant au même intervalle $\frac{n}{m}$, les ordonnées et les abscisses restent les mêmes; la seule différence est due au mode de groupement de ces coordonnées.

4. Il existe en général $2mn - (m + n)$ intersections situées sur des parallèles à l'axe des x et des z; certaines de ces parallèles se déplacent quand Δ varie; d'autres restent fixes.

5. Si l'on a m pair et n impair, l'axe des x est un axe de symétrie; si l'on a n impair et m pair, l'axe des z est un axe de symétrie, quel que soit Δ; l'autre axe en général n'est pas un axe de symétrie.

6. Si m et n sont impairs, la courbe en général n'a plus d'axes de symétrie, mais l'origine des coordonnées en est le centre.

7. Pour $\Delta = 0$ et $\Delta = \frac{1}{2mn}$, la figure est simplifiée par la superposition de deux parties identiques.

8. Pour $\Delta = \frac{1}{4mn}$ et $\frac{3}{4mn}$, la figure est symétrique par rapport aux deux axes quels que soient m et n.

9. Pour $\Delta = \Delta_1$ et $\Delta = \frac{1}{mn} - \Delta_1$, on a les mêmes courbes parcourues en sens contraires.

10. Pour $\Delta = \frac{1}{4mn} \pm \Delta_1$, les deux courbes sont différentes; si m est pair et n impair, elles sont disposées symétriquement par rapport à l'axe des z; si m est impair et n pair, elles sont symétriquement placées par rapport à l'axe des x; si m et n sont impairs tous deux, elles sont disposées symétriquement par rapport aux deux axes à la fois.

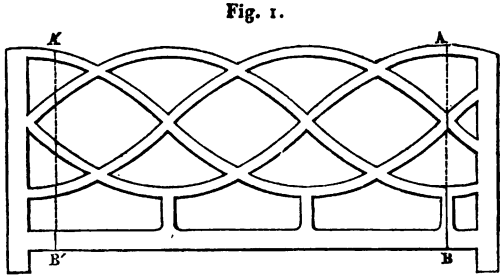
Digitized by Google

Pour mettre en évidence les propriétés des courbes cylindriques et faire voir comment s'en déduisent celles des courbes planes, j'ai exécuté en relief les courbes cylindriques correspondant aux intervalles : 1 : 1, 1 : 2, 2 : 1, 2 : 3, 3 : 2, 3 : 4, et 4 : 3. (Le premier chiffre donne le nombre des rotations autour du cylindre, et le second celui des oscillations sur sa surface.)

Dans ce but, j'ai pris un cylindre de bois parfaitement tourné, ayant un diamètre de 52 millimètres, et une hauteur de 1 décimètre environ; la longueur de la circonférence de base développée est égale à $l = 164^{mm}$. J'ai tracé ensuite par points sur du carton mince, des demi-sinussoïdes ayant toutes une ordonnée maxima égale à 26 millimètres et pour base de la sinussoïde entière, l, $2l$, $\frac{l}{2}$, $\frac{3l}{2}$, $\frac{2l}{3}$, $\frac{4l}{3}$, $\frac{3l}{4}$. J'ai découpé le carton suivant la courbe tracée, en ajoutant une petite portion de chaque côté, et j'ai obtenu ainsi des patrons permettant de tracer avec une grande netteté les courbes cylindriques développées.

J'ai dessiné de cette façon ces courbes sur du papier bristol, et tracé ensuite deux traits équidistants à 2 millimètres de part et d'autre, de manière à obtenir une bande ayant une largeur de 4 millimètres. J'ai fait découper en cuivre mince les bandes ainsi tracées; la *fig.* 1 représente un de ces patrons de cuivre découpé correspondant à l'intervalle $\frac{4}{3}$.

Fig. 1.



Avec ces patrons, il devient très-facile de tracer ces bandes sinussoïdales sur une feuille de carton ou de papier bristol, avec un crayon fin. On découpe le dessin suivant les traits, et avec un canif on amincit les parties des bandes AB et A'B' qui doivent être superposées. Après avoir mouillé le carton découpé, on le place sur le cylindre de bois et on lui donne la courbure cylindrique en le

Digitized by Google

fixant, à l'aide d'un cordon qui fait plusieurs fois le tour du cylindre et que l'on serre fortement. Quand le carton est sec et a pris la forme cylindrique, on colle avec de la gomme les parties des bandes qui se superposent, et, peu de temps après, on enlève du cylyndre le relief de carton; dans la circonférence de base, on fixe un disque de carton égal au cercle de base du cylindre; on passe ensuite sur le carton une ou deux couches de colle forte très-étendue, puis deux couches de vernis noir dit *vernis japonais*.

Les *fig.* 2 et 3 représentent les reliefs correspondant aux intervalles 2 : 3 et 3 : 2.

Fig. 2.

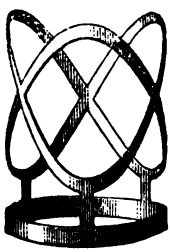
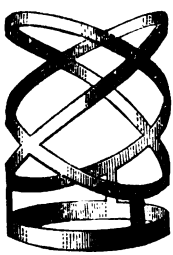


Fig. 3.



Pour démontrer, à l'aide de ces reliefs, les propriétés de leurs projections ou des courbes planes, on les place sur un support qui se compose d'une tige creuse verticale, terminée à la partie supérieure par un cadran divisé horizontal. Sur un disque mobile autour d'un axe vertical mobile dans la tubulure centrale, on place successivement les divers reliefs de carton; une aiguille, qui parcourt les divisions du cadran, indique les angles dont on a fait tourner le relief pour examiner ses projections. On observe ces dernières directement, en plaçant l'œil à la hauteur du cylindre, à une certaine distance, et mettant de l'autre côté une feuille de papier blanc.

Pour effectuer cette projection sur un écran, on place le relief dans un faisceau cylindrique de rayons lumineux suffisamment large; au delà, on place une lentille convergente à foyer assez long (de 20 à 25 centimètres) et d'une grande ouverture (un objectif de photographie, plaque entière, convient parfaitement dans ce but). Pour indiquer sur la projection elle-même la position du relief, on peut fixer sur un des sommets de la courbe cylindrique une petite tige mince verticale; la position de cette tige sur la pro-

Digitized by Google

jection sert à faire voir immédiatement les relations qui existent entre la forme de la courbe plane et la position de la courbe cylindrique. On reconnaît ainsi immédiatement que, si la courbe cylindrique est due à n oscillations et m rotations, pour un tour entier du cylindre, on obtient n fois la même série de courbes planes, ce qui démontre que, pour ces dernières, la différence de phases Δ ne doit varier que de zéro à $\frac{1}{mn}$ pour obtenir toutes les courbes dues au même intervalle.

Mesures photométriques dans les différentes régions du spectre; par M. H. Trannin.

Si l'on considère la mesure des intensités lumineuses à un point de vue général, on est arrêté de suite par l'impossibilité où l'on est, dans l'état actuel de nos connaissances, d'établir une comparaison entre deux sources lumineuses présentant des compositions spectrales différentes. L'œil, en effet, ne peut établir une comparaison entre les intensités de deux lumières, qu'autant que ces lumières sont blanches ou présentent des compositions spectrales identiques. Si les lumières émettent des radiations d'intensités et de qualités différentes, l'œil devient inapte à former un jugement précis sur ces intensités, absolument comme l'oreille qui ne peut juger exactement les intensités de deux sons de hauteurs différentes.

La solution complète du problème de la comparaison de deux sources lumineuses différemment colorées exigerait que l'on pût déterminer : 1° l'intensité de la sensation résultant de l'action sur le sens visuel de chaque radiation, en fonction de sa force vive et de sa longueur d'ondulation; 2° l'intensité de la sensation résultant de la composition des sensations partielles, dues à chaque radiation. Ce problème, un des plus vastes et des plus difficiles qu'on puisse poser à la Physiologie, n'a guère été abordé jusqu'à présent que sous une de ses faces : « Intensité de la sensation en fonction de l'intensité de l'excitation [1]. »

---

[1] *Voir* les travaux de MM. Weber, Fechner, Helmholtz, Purkinge, Dose, Delbœuf.

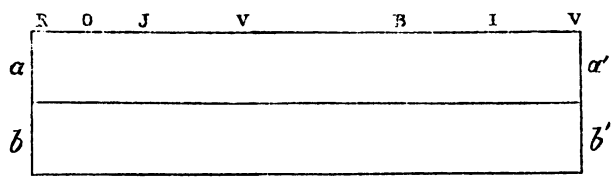
Digitized by Google

J'ai restreint le problème général de la comparaison des sources lumineuses colorées à la mesure des intensités relatives des radiations de même longueur d'ondulation, prises dans des lumières de composition différente. La méthode que j'ai employée dans ce but consiste dans la superposition des spectres des lumières à comparer, et dans la production, dans ces spectres, de bandes d'interférence qui disparaissent dans une région déterminée de la partie commune aux deux spectres, quand les radiations qui constituent cette région ont des intensités égales.

I. *Description de la méthode.* — Les rayons des deux lumières A et B à comparer sont dirigés par de petits prismes à réflexion totale, sur la fente du collimateur d'un spectroscope; les rayons de la lumière A éclairent la moitié supérieure de la fente et les rayons de B la moitié inférieure.

On aperçoit alors dans la lunette du spectroscope deux spectres lumineux, placés l'un au-dessus de l'autre (*fig.* 1) et correspondant,

Fig. 1.



l'un (a) à la lumière A, et l'autre (b) à la lumière B. Avec cette disposition expérimentale [1], la comparaison directe des intensités des diverses radiations ne comporte que peu de précision; aussi ai-je fait appel aux phénomènes si précis de la polarisation pour juger de l'égalité de deux radiations. Pour cela, entre le collimateur et le prisme dispersif du spectroscope sont placées les pièces suivantes : un prisme de Foucault, une lame de quartz parallèle à l'axe et un prisme de Wollaston.

Le prisme de Foucault polarise dans un plan horizontal les rayons lumineux parallélisés par le collimateur; le quartz taillé parallèlement à l'axe introduit une différence de marche considérable entre les rayons ordinaire et extraordinaire qui s'y forment; le prisme de Wollaston joue un double rôle analogue à celui du prisme biréfrin-

(1) Vierordt, *Poggendorff's Annalen*, t. CXL, p. 172.

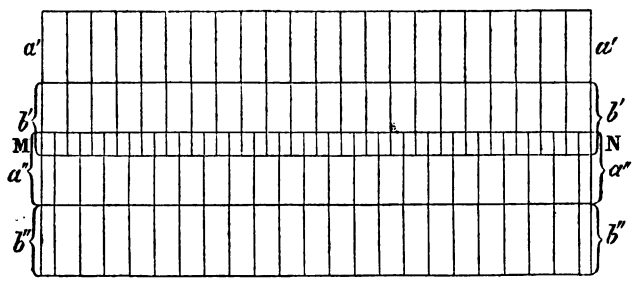
Digitized by Google

gent dans le photomètre de M. Jamin : il ramène dans deux plans rectangulaires toutes les vibrations lumineuses, et de plus dédouble les images de chacune des moitiés de la fente, qui doivent se former au plan focal de l'objectif.

Les conditions nécessaires pour la production des spectres cannelés par la méthode de MM. Fizeau et Foucault sont ainsi réalisées.

Au lieu des deux spectres *a* et *b* de la *fig.* 1, on voit alors dans la lunette quatre spectres cannelés (*fig.* 2), *a'* et *b'* polarisés dans

Fig. 2.



le plan horizontal, et *a''* et *b''* polarisés dans le plan vertical. A cause de la rectangularité des plans de vibration de ces deux systèmes de spectres, les maxima brillants des bandes d'interférence de *a'* et *b'* seront sur le prolongement des minima des bandes de *a''* et *b''* et inversement; de plus ces deux systèmes coïncideront en partie par suite de l'angle de duplication du prisme de Wollaston. La partie MN commune aux deux spectres *b'* et *a''* est formée par la superposition de deux systèmes de bandes d'interférence, provenant chacun d'une des lumières soumises à l'expérience, et ces systèmes alternent l'un avec l'autre. C'est en obtenant la disparition complète de ces bandes d'interférence, dans la région du spectre considérée, que l'on juge de l'égalité des radiations qui constituent cette région.

Je fais varier les intensités des faisceaux lumineux, soit en changeant les distances des lumières à la fente, soit en interposant entre le prisme de Wollaston et les prismes dispersifs un prisme de Foucault, qui, par une rotation convenable, ramène à l'égalité les deux faisceaux lumineux polarisés à angle droit, issus du prisme de Wollaston.

Digitized by Google

Dans cette méthode, l'œil n'a à considérer que l'existence ou l'absence de bandes d'interférence, et l'on sait que ces phénomènes sont perçus avec une très-grande exactitude.

II. *Erreur probable.* — Avant d'appliquer cette méthode à l'étude des lumières colorées, j'ai cherché à connaître le degré de confiance que je pouvais lui accorder; je fis pour cela une grande quantité d'observations dans les différentes parties du spectre, et je reconnus que les coefficients de précision des observations varient avec la longueur d'ondulation, et que ces coefficients, très-élevés pour les rayons voisins du jaune, diminuent rapidement de valeur quand on s'approche des extrémités du spectre.

Avant d'entrer dans le détail de ces expériences, je crois devoir rappeler ce qu'on entend par coefficient de précision d'une série d'observations et par l'erreur probable d'une détermination.

Quand on répète plusieurs fois la même observation dans des circonstances aussi près d'être identiques que possible, on obtient généralement des résultats numériques différents. La valeur qui se rapproche le plus de la valeur cherchée inconnue est donnée, comme on le sait, par la moyenne arithmétique de toutes les valeurs fournies par l'expérience; de plus, l'exactitude de cette moyenne croît comme la racine carrée du nombre des observations.

Si l'on fait la différence de chacune des valeurs partielles avec la moyenne, on obtient une série d'écarts dont la somme algébrique est égale à zéro, et qui, au premier abord, ne semblent obéir à aucune loi; mais, à mesure que le nombre des observations augmente, on observe que les écarts les plus petits sont les plus nombreux, et le calcul et l'expérience s'accordent à montrer que les erreurs ou écarts [1] se répartissent toujours suivant la loi de possibilité exprimée par la formule

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2},$$

dans laquelle, h représentant un paramètre variable avec la nature des observations, y est la probabilité d'une erreur de grandeur x.

La probabilité P_a, qu'une erreur x soit comprise entre zéro et a

---

[1] On suppose que les erreurs systématiques ont été éliminées par des corrections expérimentales convenables

Digitized by Google

pour une espèce déterminée d'observations, est donnée par l'intégrale

$$(1) \qquad P_a = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_0^a e^{-h^2x^2} dx;$$

P_a représente encore le nombre d'erreurs comprises entre zéro et a, l'unité représentant la somme de toutes les erreurs possibles dans cette espèce d'observations.

Pour une autre espèce d'observations, la probabilité $P_{a'}$ qu'une erreur x' soit comprise entre zéro et a' sera semblablement

$$(2) \qquad P_{a'} = \frac{h'}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a'} e^{-h'^2x'^2} dx'.$$

Faisons $hx = h'x' = t$, les expressions (1) et (2) deviennent

$$P_a = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{ah} e^{-t^2} dt,$$

$$P_{a'} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a'h'} e^{-t^2} dt.$$

Pour que ces expressions soient égales, il faut qu'on ait

$$ha = h'a';$$

et, comme on a de plus

$$hx = h'x',$$

on en déduit

$$\frac{a}{x} = \frac{a'}{x'}.$$

En d'autres termes, l'erreur de grandeur x, comprise entre zéro et a, se reproduira le même nombre de fois dans la première série d'observations que l'erreur x' entre zéro et a' dans la deuxième série [1].

La relation $hx = h'x'$ indique que les grandeurs des erreurs pos-

---

[1] Liagre, *Calcul des probabilités.*

Digitized by Google

sibles x et x' sont en raison inverse des constantes h et h'; en conséquence, les observations seront d'autant plus exactes que x et x' seront plus petits, et que h et h' seront plus grands.

La constante h mesure donc la précision d'une série d'observations. On lui donne le nom de *module de convergence, coefficient de précision,* etc. Pour obtenir sa valeur, on emploie la formule suivante :

$$h = \sqrt{\frac{n}{2\Sigma e^2}},$$

dans laquelle n est le nombre des observations et Σe^2 la somme des carrés des erreurs.

Parmi toutes les erreurs possibles que présente une série d'observations suffisamment nombreuses, il en est une qui a une valeur telle, que le nombre des erreurs qui la surpassent en valeur absolue est égal au nombre des erreurs qui ont une valeur moindre. Il y a alors un contre un à parier que l'erreur d'une observation isolée prise au hasard n'atteindra pas une valeur supérieure à celle-ci. La probabilité est, dans ce cas, égale à $\frac{1}{2}$; on donne le nom d'*erreur probable* ou d'*erreur médiane* à cette erreur ainsi définie. Sa considération est d'une grande importance dans le calcul des résultats donnés par l'expérience; elle permet, en effet, de connaître quel degré de confiance on peut accorder aux résultats donnés par une série de déterminations.

L'erreur probable ε d'une détermination isolée est donnée par la formule

$$\varepsilon = 0{,}477\sqrt{\frac{2\Sigma e^2}{n}}.$$

On a souvent à considérer l'erreur probable du résultat moyen de toute une série de déterminations; dans ce cas sa valeur ε_1 est donnée par la formule

$$\varepsilon_1 = \frac{0{,}477}{n}\sqrt{2\Sigma e^2}.$$

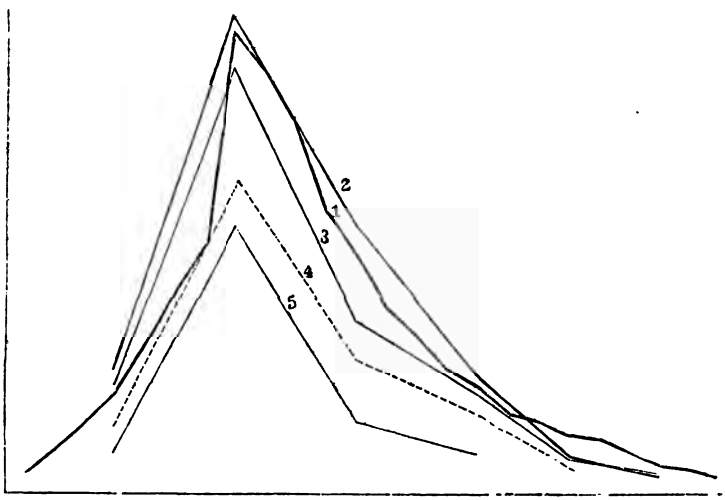
J'ai calculé l'erreur probable ε_1 pour chaque série d'observations, afin de savoir sur quel chiffre exact je pouvais compter.

III. *Expériences. Résultats.* — Pour déterminer le coefficient de précision en chaque région du spectre, je plaçai une lampe

Digitized by Google

Drummond à 12c,5 en avant de l'ouverture (1). Le faisceau lumineux se divisait en deux faisceaux égaux qui venaient éclairer les parties inférieure et supérieure de la fente ; de cette manière, les variations possibles d'intensité se produisant également dans les deux faisceaux, les intensités relatives des radiations avaient une valeur constante. Je déterminai alors, pour chaque région du spectre, l'intensité relative des radiations correspondantes, à l'aide d'une série de vingt observations, dont les écarts sur leur moyenne permirent de calculer les coefficients de précision relatifs à ces radiations. Cette opération fut répétée de 10 en 10 divisions du micromètre. J'ai pu, dès lors, construire une courbe (*fig.* 3, courbe

Fig. 3.



n° 1) dans laquelle les coefficients de précision sont portés sur l'axe des y, les longueurs d'ondulations sur l'axe des x.

On voit immédiatement : 1° que les valeurs des coefficients de précision varient avec les radiations spectrales; 2° qu'il y a un maximum parfaitement accusé dans le jaune; 3° que la courbe est continue et monte excessivement vite dans le rouge et l'orangé.

Je voulus me rendre compte ensuite de l'influence de l'intensité absolue sur la valeur du coefficient de précision d'une radiation

(1) L'appareil était disposé pour une seule lumière, comme pour l'étude de l'absorption.

Digitized by Google

donnée; pour cela, je changeai la position de la lampe à la fente, de manière qu'elle fût successivement aux distances de 25c, 37c,5; 50 et 75 centimètres. J'obtins les courbes 2, 3, 4, 5. Il résulte de l'examen de ces courbes que les coefficients de précision varient peu, relativement aux changements des intensités lumineuses. Ainsi nous voyons que les coefficients relatifs aux rayons jaunes (165 du micromètre) ont varié dans le rapport de 158 à 89, quand les intensités ont varié dans le rapport de 16 à 1. En outre, la variation n'est pas toujours dans le même sens; ainsi la courbe (2) est généralement plus élevée que la courbe (1), quoique celle-ci ait été donnée par une lumière quatre fois plus intense que celle qui a fourni la courbe (2).

Il y a probablement pour chacune des radiations une certaine intensité qui correspond à un maximum de précision. Si l'intensité est trop forte, l'œil fatigué perd en partie la faculté de reconnaître les petites différences d'intensité; si la lumière est trop faible, au contraire, l'œil ne saisit plus facilement les différences d'intensité des bandes et les mesures sont également moins précises.

Il serait intéressant de rechercher l'existence et la valeur de ces maxima, que les conceptions théoriques de M. Helmholtz et les derniers travaux de M. Delbœuf font entrevoir.

Après avoir effectué ces recherches préliminaires, j'ai entrepris de comparer entre elles les sources lumineuses généralement employées. La détermination précise des absorptions des milieux colorés, la recherche de la loi qui lie l'émission des radiations avec l'élévation de la température sont autant de problèmes que la méthode photométrique dont j'ai fait usage permettra de résoudre.

Vernis destiné à faciliter l'écriture sur le verre;
par M. A. Terquem.

Depuis que l'emploi, et même la mode, des projections se sont introduits dans l'enseignement de la Physique, on a cherché à représenter sur des lames de verre divers dessins ou tableaux que, précédemment, on dessinait à la craie ou au fusain. La photogra-

Digitized by Google

phie a été, dans ce but, souvent mise à réquisition; mais il y a tel dessin trop simple pour employer ce moyen. D'un autre côté, dans un but plus sérieux, on peut avoir à dessiner sur verre des échelles divisées, à marquer sur des tubes des points de repère. Or, l'encre ordinaire, ou même l'encre de Chine, ne prend que difficilement sur le verre bien propre; le vernis ne peut être posé qu'au pinceau et non à la plume.

J'ai cherché à composer un vernis à l'alcool qui recouvrît le verre d'une couche presque invisible et sur laquelle on pût écrire et dessiner à l'encre.

J'ai reconnu d'abord qu'on pouvait employer dans ce but tous les vernis à l'alcool, quelle que fût la résine dissoute; seulement il est indispensable de verser le vernis sur la lame de verre légèrement chauffée, en opérant comme pour poser le collodion sur le verre pour faire une épreuve photographique.

Si l'on verse le vernis sur la lame de verre non chauffée, l'évaporation de l'alcool refroidit la lame de verre et l'humidité de l'air s'y déposant empêche le vernis de prendre de la cohésion; la résine reste opaque, non adhérente, et donne au verre l'aspect du verre dépoli. On peut cependant éviter de chauffer le verre, en plaçant aussitôt la lame couverte de vernis sous une cloche dont l'atmosphère a été desséchée d'avance à l'aide d'un vase rempli d'acide sulfurique.

L'eau que contient l'alcool employé pour la confection du vernis a aussi une influence fâcheuse sur l'évaporation du liquide ainsi que sur la transparence et l'adhésion de la couche de résine; aussi est-il très-important d'employer, en général, pour tous les vernis, de l'alcool ayant au moins un titre de 95 pour 100, ou mieux encore de l'alcool absolu.

Pour parer à ces inconvénients et pouvoir poser le vernis sur les objets froids, même le vernis à la gomme laque, les fabricants y ajoutent souvent une petite quantité d'essence, et particulièrement d'essence de lavande; celle-ci, en effet, retarde l'évaporation de l'alcool, et maintient en dissolution la résine quand l'alcool est évaporé, et malgré le dépôt de rosée; mais ces vernis, dits *vernis accélérés,* sèchent plus lentement que les vernis à l'alcool pur, et jamais ils ne présentent le même éclat; la couche de résine est plus épaisse et moins égale. Il est donc préférable d'employer seu-

Digitized by Google

lement de l'alcool absolu; de cette facon le corps à vernir n'a besoin que d'être très-peu chauffé, à 40 degrés au plus; si on le chauffe trop, l'évaporation est trop rapide, et le vernis se dépose avec des stries.

Pour vernir le verre, j'ai donné la préférence spécialement à deux vernis.

Le vernis au mastic (alcool absolu, 100 centimètres cubes; mastic, 10 grammes) donne une couche absolument transparente, parfaitement unie, sans stries; l'écriture n'y est pas absolument facile, à cause du défaut de grain de la surface.

Le vernis à la sandaraque (alcool absolu, 100 centimètres cubes; sandaraque, 10 grammes), au contraire, subit une sorte de retrait ou tressaillement perpendiculaire au sens de l'écoulement. Ces stries très-fines, parfaitement visibles, produisent très-nettement le phénomène des réseaux quand on regarde à travers la plaque une lumière éloignée.

Pour l'écriture sur verre, il est préférable de prendre le vernis suivant : alcool, 100 centimètres cubes; mastic, 7; sandaraque, 3. La surface présente un certain grenu qui rend l'écriture plus facile.

Si l'on pose le vernis au mastic à froid, on obtient une couche dépolie, peu adhérente, qui présente des colorations très-vives, et donne le phénomène des couronnes quand on examine une lumière éloignée, avec certaines particularités qui seraient dignes d'être étudiées avec soin.

Le vernis à la sandaraque à froid donne au contraire au verre l'aspect complet de verre dépoli, sans coloration; on peut sur cette couche inscrire des vibrations, comme on le fait sur le noir de fumée; les inscriptions sont plus fines que sur ce dernier corps; on peut colorer la couche non enlevée et la rendre plus opaque, en mêlant du violet d'aniline au vernis. On fixe l'inscription en plongeant la lame de verre dans une dissolution légère de gomme.

Le vernis à la sandaraque et au mastic posé à froid sur le verre donne une couche dépolie avec des phénomènes de réseaux et de couronnes simultanés. On est obligé de recouvrir d'un second verre ces couches dépolies pour les conserver; de même pour l'écriture sur vernis transparent, quoiqu'on puisse fixer l'écriture en plongeant la lame également dans de l'eau gommée; le pinceau enlève l'écriture qui n'est que superficielle.

Digitized by Google

En supposant plusieurs lames de verre recouvertes de vernis à la sandaraque posé à froid, on peut obtenir des lames translucides qui seraient employées utilement dans la photométrie, pour remplacer les lames de verre amidonnées par le procédé Foucault, qu'il est difficile d'obtenir recouvertes d'une couche bien uniforme.

SÉANCE DU 5 MAI 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Boursac, ancien proviseur à Angoulême; Duchemin, ingénieur; Yvon, pharmacien; Séguin, recteur de l'Académie de Caen.

M. Lecoq de Boisbaudran, après avoir rappelé les considérations théoriques tirées de l'analyse spectrale qui l'ont conduit à la découverte du nouveau métal auquel il supposait des propriétés intermédiaires entre celles de l'aluminium et de l'indium, fait connaître les propriétés physiques principales du gallium.

M. Jannettaz, en exerçant normalement au plan de symétrie du cristal un effort pour percer le cristal, a observé que l'air interposé entre le feuillet déformé et le feuillet traversé donnait lieu à des anneaux colorés elliptiques semblables aux ellipses de conductibilité, et a été conduit à rechercher, par cette méthode, la valeur des coefficients d'élasticité du gypse dans diverses directions.

La séance est levée à 10 heures.

Sur les propriétés physiques du gallium;
par M. Lecoq de Boisbaudran.

Les quantités du nouveau métal que j'ai réussi à obtenir étant très-petites, il ne m'a été possible d'examiner encore qu'un nombre restreint de ses principales propriétés physiques.

Digitized by Google

Le gallium pur [1] fond à environ $+29^{\circ},5$: il se liquéfie donc rapidement dès qu'on le place dans la main. Lorsqu'il a été complétement fondu, il se maintient en surfusion avec une facilité extrême. En février-mars 1876, un petit globule a conservé l'état liquide, pendant plus d'un mois, à l'air libre de mon laboratoire de Cognac, bien qu'il fût chaque jour divisé, puis réuni, au moyen d'une tige d'acier, et cela, par des températures qui sont plusieurs fois descendues jusque vers zéro et peut-être au-dessous. Le gallium surfondu se prend en masse quand on le touche avec une trace de gallium solide.

Au-dessous de $+29^{\circ},5$, ou à froid et en surfusion, le gallium liquide est très-mobile, mais apparaît comme recouvert d'une mince pellicule, sous laquelle on voit le métal couler lorsqu'on penche le tube qui le contient; il adhère fortement au verre sur lequel on l'étend facilement en couche mince par frottement avec une baguette.

Même à peu de degrés au-dessous de son point de fusion, le gallium solide est dur et d'une ténacité remarquable pour un métal aussi fusible; il se coupe néanmoins au couteau comme un métal malléable et présente, sous ce rapport, quelque analogie avec l'aluminium.

Le gallium cristallise avec une grande facilité. Une petite masse à peu près sphérique, pesant 6 centigrammes, ayant été soumise à l'action dissolvante de l'acide chlorhydrique, acquit des contours polyédriques aussi nets et des facettes aussi étendues que si la masse entière eût appartenu à un cristal unique.

Chauffé au rouge vif en présence de l'air, le gallium ne s'oxyde que très-légèrement à la surface et ne se volatilise pas.

Un des caractères les plus saillants du gallium est la production d'un spectre, formé de deux raies violettes linéaires, dont la plus brillante a pour longueur d'onde 417,0 et l'autre 403,1. Ce spectre s'obtient en faisant éclater l'étincelle d'induction sur une solution saline de gallium; c'est une réaction fort sensible du nou-

---

[1] La marche suivie dans la préparation des 10 centigrammes de gallium présentés à l'Institut et à la Société française de Physique, ainsi que l'examen spectral, me porte du moins à penser que ce gallium approchait de la pureté complète.

Digitized by Google

veau métal. Dans la flamme du gaz, au contraire, on n'observe qu'à grand'peine une faible trace de la raie 417,0.

La densité du gallium (provisoirement déterminée sur un échantillon pesant $6^{cg},4$ et sauf vérification ultérieure) a été trouvée égale à 4,7; c'est bien ce que le calcul indique pour un métal qui se placerait dans les séries naturelles entre l'aluminium et l'indium. La position des deux raies violettes du gallium sur l'échelle des longueurs d'ondes tend également à classer cet élément entre l'indium et l'aluminium. La singulière fusibilité du gallium est, au contraire, en désaccord avec ce qu'on aurait pu supposer en prenant pour base de calcul les fusibilités de l'aluminium et de l'indium.

J'ai cherché à déterminer, au moins avec une grossière approximation, l'équivalent du gallium; mais les nombres obtenus dans trois expériences sont trop peu concordants pour qu'il me soit permis de les publier; il semblerait cependant, d'après ces essais imparfaits, que l'équivalent du gallium est voisin du nombre qu'on déduit de la position du gallium entre l'indium et l'aluminium; c'est-à-dire qu'il s'accorde assez probablement, soit avec l'équivalent calculé par M. Mendeleeff, soit avec celui, peu différent, que donnent mes propres hypothèses.

Addition à la Note précédente (1);
par M. Lecoq de Boisbaudran.

J'ai récemment préparé un peu plus de $\frac{1}{2}$ gramme de gallium pur. A l'état liquide, ce métal est d'un beau blanc d'argent; mais, en cristallisant, il prend une teinte bleuâtre très-prononcée et son éclat diminue notablement.

En opérant convenablement la solidification du gallium surfondu, on obtient des cristaux isolés : ce sont des octaèdres que je m'occupe de mesurer.

Dans un premier essai (avril 1876) le point de fusion avait été

(1) Addition envoyée à la Société en septembre.

Digitized by Google

trouvé compris entre 29 et 30 degrés environ, soit à peu près + 29°,5. Je viens de reprendre cette détermination. Je suis parvenu à + 30°,15 comme moyenne de nombres très-concordants.

A + 30°,06, le métal cristallisait, bien qu'avec une extrême lenteur.

En mai 1876, j'essayai de mesurer la densité du gallium sur un échantillon de 6 centigrammes; j'obtins 4,7 à 15 degrés. La moyenne des densités de l'aluminium et de l'indium étant à peu près 4,8 à 5,1, le poids spécifique provisoirement trouvé pour le gallium paraissait pouvoir s'accorder assez bien avec une théorie classant ce métal entre l'indium et l'aluminium.

Cependant les calculs établis par M. Mendeleeff pour un corps hypothétique qui semble correspondre au gallium (du moins d'après plusieurs de ces propriétés) conduisaient à la densité 5,9.

Le gallium cristallisé sous l'eau décrépite quelquefois quand on le chauffe. Peut-être mon premier métal contenait-il des vacuoles remplies d'air ou d'eau. Quoi qu'il en soit, j'ai évité depuis cette cause d'erreur en chauffant fortement le métal et le solidifiant dans une atmosphère sèche.

En employant quelques centigrammes seulement, j'obtins d'abord pour la densité des nombres variant de 5,5 à 6,2.

Je viens enfin d'opérer sur 58 centigrammes à la fois.

Densités trouvées.

1re	expérience	5,90	à 23 degrés et relativement à l'eau à 23 degrés.
2e	»	5,97	
3e	»	5,96	à 24°,45 et relativement à l'eau à 24°,45.
	Moyenne ..	5,94	à 23°,5 et relativement à l'eau à 23°,5.

Il n'est pas besoin d'insister, je pense, sur l'intérêt qui s'attache à la confirmation des vues théoriques de M. Mendeleeff en ce qui concerne la densité du nouvel élément.

Digitized by Google

William Grosselestre
Ingénieur

Connexion des axes des ellipses de conductibilité thermique et des coefficients d'élasticité de flexion dans le gypse; par M. Ed. Jannettaz.

De l'ensemble de mes recherches sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés j'ai tiré cette loi remarquable : qu'une même température se propage le plus loin, à partir d'une source de chaleur déterminée, suivant les directions planes qui se clivent le plus facilement, ou, si l'on aime mieux, qui adhèrent aux directions parallèles par la moindre cohésion.

J'ai vu, par exemple, que dans le gypse le grand axe de l'ellipse des conductibilités du plan g^1, celui de plus facile clivage, fait avec la zone verticale un angle de 17 degrés et qu'il est, par conséquent, plus près du clivage vitreux ou de second ordre que du clivage fibreux, le plus difficile, ou de troisième ordre, en appelant clivage de premier ordre celui qui est parallèle au plan g^1 lui-même, et auquel les deux autres sont perpendiculaires.

Le plan du papier est le plan g^1 (plan de symétrie des cristaux de gypse).

En exerçant normalement au plan de symétrie un effort pour percer le cristal, j'ai observé que l'air interposé entre le feuillet déformé et le feuillet traversé donnait lieu à des anneaux colorés elliptiques semblables aux ellipses de conductibilité, et j'ai été conduit à rechercher la valeur des coefficients d'élasticité du gypse, suivant les rayons vecteurs de ces courbes. J'ai déterminé les coefficients d'élasticité de flexion de lames de gypse prélevées dans différentes directions, et notamment dans les directions parallèles aux axes des ellipses. En comparant leurs rapports à ceux des axes de conductibilité, j'ai trouvé que les premiers sont représentés par les cubes des seconds.

Je me suis servi de la formule connue

$$\frac{E}{E'} = \frac{pl^3\,y'}{p'l'^3\,y} = 1,939,$$

y, p, l, E désignant la flèche, la charge, la longueur et le coeffi-

Digitized by Google

cient d'élasticité par rapport au grand axe; les mêmes lettres accentuées ont la même signification relativement au petit axe.

J'ai obtenu 1,939 pour rapport des coefficients d'élasticité. Ce nombre est précisément le cube de 1,247, rapport des axes de conductibilité thermique.

SÉANCE DU 19 MAI 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Bézodis, professeur au lycée Henri IV ; Deslandes, ancien officier de marine en retraite; Gauthier-Villars, ancien élève de l'École Polytechnique; Jenot, professeur au Lycée de Nancy; Mouchot, professeur au lycée de Tours; Reynier, ingénieur; Rolland, directeur général des Manufactures de l'État.

M. du Moncel expose les résultats de ses expériences sur la polarisation électrique. L'auteur a particulièrement étudié les phénomènes qui se produisent lorsqu'on fait passer le courant à travers un prisme d'une variée de silex remarquable par ses propriétés (le silex d'Hérouville), relié à la pile par deux lames de platine.

M. André explique l'influence de la diffraction sur la grandeur des images observées dans les instruments d'optique.

La séance est levée à 10 heures.

Polarisation électrique des minéraux; par M. le Cte Th. du Moncel.

On a beaucoup écrit sur la polarisation électrique, on a varié de beaucoup de manières les expériences; mais la question est si complexe qu'elle présente encore bien des points obscurs. Jusqu'à pré

Digitized by Google

sent; les expériences ont surtout porté sur les liquides où ce phénomène se développe de la manière la plus énergique et dans les conditions les plus simples; mais, comme il est difficile avec de pareils conducteurs d'analyser séparément les effets produits par les divers éléments qui prennent part au phénomène, on n'a guère étudié les effets de polarisation qu'à un seul point de vue, à celui de l'effet produit secondairement par les électrodes; de sorte que les effets déterminés au sein du corps électrisé lui-même sont généralement passés inaperçus. Ils sont pourtant très-importants, comme on va le voir, et, pour les mettre au jour, il fallait employer un électrolyte solide, qui, tout en jouissant d'une conductibilité électrolytique marquée, présentât des surfaces sèches et polies sur lesquelles les électrodes pussent s'appliquer facilement sans aucune intervention humide.

Certains minéraux, et en particulier les hydrates de silice naturels, tels que les opales du Mexique, certains silex et silicates à base métallique, et un certain nombre de minerais métalliques, entre autres les fers oligistes et magnétiques, la blende de zinc, etc., sont précisément dans ces conditions; et, grâce à eux, j'ai pu en quelque sorte disséquer les effets produits par le passage d'un courant à travers un électrolyte peu conducteur, effets très-variés et très-curieux, comme on pourra le voir par les résultats que nous allons exposer.

Le minéral qui m'a donné les meilleurs résultats, c'est-à-dire les effets les plus énergiques, est un certain silex gris que l'on rencontre en bandes étroites dans les carrières de pierre calcaire des environs de Caen. C'est un corps très-hygrométrique, très-dur, susceptible d'un beau poli, dont la densité est 2,56 et dont la composition est la suivante, d'après M. Damour :

	gr
Silice	0,9664
Alumine	0,0048
Oxyde ferrique	0,0051
Chaux	0,0034
Eau et matières volatiles	0,0200
	0,9997

J'ai fait tailler en plaques trois fragments de ce silex, afin d'en avoir toujours un non électrisé qui pût me servir d'analyseur. Ces

Digitized by Google

plaques avaient 4 centimètres de longueur, $2^c,5$ de largeur et $0^c,5$ d'épaisseur.

Quand je voulais faire passer le courant de la pile, qui se composait de douze éléments Leclanché, à travers ces pierres, j'enveloppais ses deux extrémités avec deux lames de platine très-minces, qui en constituaient les électrodes et qui étaient serrées contre la pierre au moyen de deux petits étaux en bronze auxquels étaient attachés les fils de la pile. Les électrodes avaient 240 millimètres carrés de surface, et leur distance l'une de l'autre, quand elles étaient posées sur la pierre, était d'environ 15 millimètres; j'avais soin de les flamber avec une lampe à alcool à chaque expérience nouvelle.

Le galvanomètre que j'ai employé, pour mesurer les effets produits, était un galvanomètre de Ruhmkorff, ayant 36000 tours de spires et une résistance de 733 kilomètres de fil télégraphique. Il était conséquemment de la plus grande sensibilité, et je modérais à mon gré cette sensibilité au moyen d'un appareil à dérivations.

Quand je faisais passer le courant à travers la pierre, j'étais obligé d'établir, entre les deux extrémités du galvanomètre, une dérivation de 4 kilomètres de résistance, et j'obtenais au début une déviation variant de 70 à 80 degrés, qui augmentait avec la durée de fermeture du circuit et qui fournissait, après que la pile était retirée du circuit, un courant de polarisation atteignant généralement (sans la dérivation) 86 degrés en sens opposé du courant primitif. Ce courant durait plus ou moins longtemps suivant la durée de la fermeture du circuit. Par une fermeture de dix minutes, il ne disparaissait qu'au bout d'une demi-heure; j'avais donc tout le temps d'étudier ce phénomène sous tous ses aspects. Or voici les conclusions auxquelles m'ont conduit de nombreuses expériences répétées un très-grand nombre de fois:

1° La polarisation augmente avec l'intensité et la durée du courant qui la provoque, et ses effets sont d'autant plus caractérisés que les électrodes ont une moindre surface.

2° Le phénomène de la polarisation se produit d'une manière double sur les électrodes et sur les corps électrolysés, de telle sorte que le courant principal crée, par suite de sa circulation à travers le système électrolytique, deux générateurs électriques distincts, qui sont susceptibles de produire isolément des courants de polarisation.

Digitized by Google

3° La prédominance de l'un de ces courants sur l'autre dépend du temps de l'électrisation du système électrolytique et de la nature du corps électrolysé. Si le corps n'a pas une conductibilité propre bien prononcée, comme le silex dont il a été question, le courant de polarisation fourni par les électrodes est, pour une fermeture du courant principal de peu de durée (cinq ou dix minutes), de beaucoup supérieur à celui de la pierre; mais l'inverse a lieu si le courant principal a été fermé pendant longtemps (une demi-heure par exemple), ou si l'on a effectué un grand nombre d'expériences de suite et dans le même sens. Avec une pierre qui possède, en outre de la conductibilité électrolytique, une conductibilité métallique, comme le fer oligiste par exemple, il n'en est plus de même, et c'est le courant de la pierre qui l'emporte de beaucoup sur le courant des électrodes.

4° Le courant de polarisation fourni par les électrodes est dû évidemment à l'action des gaz condensés; car, pour obtenir révélation de ce courant, il faut réunir les deux électrodes qui ont servi à l'électrisation de la pierre par un corps jouissant d'une conductibilité électrolytique marquée, soit un second silex, soit un liquide quelconque. Si l'on réunit ces électrodes par une pierre métallique ou un corps jouissant d'une conductibilité métallique prononcée, comme le fer oligiste dont il a été question, aucun courant n'est produit.

5° Le courant de polarisation, fourni par le corps électrolysé, a une origine plus complexe: il peut provenir, soit d'une condensation de gaz effectuée sur celles des particules du corps qui jouissent d'une conductibilité propre, soit d'une polarisation électrostatique qu'auraient acquise, sous l'influence d'une condensation électrique opérée par les électrodes, ces différentes particules, d'où résulterait un courant de décharge analogue à celui produit par un condensateur dont on réunirait les armatures; et, comme la charge électrique, en raison de la médiocre conductibilité du corps, éprouve de la difficulté à se déplacer à l'intérieur de sa masse et qu'elle a mis déjà un temps assez long pour la pénétrer, il lui faut également un temps assez long pour s'annuler, et de là la durée relativement considérable du courant de décharge, qui joue alors le même rôle que le courant de polarisation. Il est probable que ces deux effets réagissent en même temps dans le phénomène dont il est question.

Digitized by Google

6° La part que prend chacune des deux électrodes dans la création du courant de polarisation produit n'est pas la même. Elle est beaucoup plus grande avec l'électrode positive qu'avec l'électrode négative, et pourtant leur action simultanée donne au phénomène un développement bien supérieur à celui qui résulterait de leurs actions individuelles simplement additionnées. Cette différence d'action varie avec la durée de fermeture du courant principal, et elle est d'autant plus grande que cette durée est plus longue ; toutefois la différence ne porte guère que sur l'électrode positive ; car, à l'électrode négative, l'effet de la polarisation atteint bien vite un chiffre qu'il ne dépasse jamais que de très-peu. Ainsi, si, après avoir électrisé pendant cinq minutes le silex dont nous avons parlé, on prend l'électrode positive et qu'on la place sur un second silex non électrisé, en prenant une lame de platine neuve pour seconde électrode, on trouve un courant représenté par 10 degrés. Or, l'électrode négative étant substituée à l'électrode positive, le courant n'a plus été que de 3 degrés, et pourtant les deux électrodes combinées fournissaient un courant de 42 degrés. En répétant les mêmes expériences après une électrisation de la pierre de vingt minutes, le courant développé par l'électrode positive a été de 35 degrés, celui produit par l'électrode négative 4 degrés, et les deux électrodes agissant simultanément ont fourni un courant de 61 degrés.

7° La faculté que possèdent les électrodes de fournir un courant de polarisation après avoir été électrisées par l'intermédiaire d'une pierre se conserve longtemps et n'est pas détruite par l'essuyage, comme cela a lieu quand elles ont servi d'électrodes à un liquide ; mais, si l'on vient à les mouiller, cet essuyage les dépolarise aussi bien que si on les eût flambées à une lampe à alcool, du moins si l'on prend, pour révéler leur état électrique, un silex non électrisé.

8° Si l'on applique sur une pierre non électrisée des électrodes de platine plongées pendant longtemps dans les gaz oxygène et hydrogène, ou si l'on insuffle autour de ces électrodes des jets de ces deux gaz, on n'obtient aucun courant : d'où l'on peut conclure que le phénomène de la polarisation ne peut être assimilé dans ce cas à celui d'une pile à gaz, comme on l'admet généralement. D'un autre côté, si l'on électrise séparément les électrodes en en faisant les deux armures d'un condensateur et qu'on les applique sur la pierre,

Digitized by Google

on n'obtient pas davantage de courant; il faut donc, pour que le phénomène se produise, que le système constituant l'électrolyte soit à la fois électrisé et disposé de manière à avoir sur les électrodes des gaz condensés. Dans ces conditions, c'est l'action électrique qui détermine l'action chimique et non cette dernière. Toutefois, si l'on considère que c'est l'électrode où se dégage l'oxygène qui prend la plus grande part au phénomène, et que cet oxygène est alors transformé en ozone, on pourrait peut-être admettre que c'est la formation de l'ozone qui produit les effets de polarisation, mais il n'agit puissamment que parce qu'il est électrisé. Pour moi, je ne serais pas éloigné d'admettre que l'action physique préventive, qui détermine les effets de polarisation, serait du genre de celle qui provoque pour la lumière les effets de fluorescence et de phosphorescence, et que les corps ayant subi l'électrisation pendant quelque temps seraient susceptibles de conserver, eu égard aux actions d'affinité moléculaire qu'ils pourraient exercer ultérieurement, une certaine propriété électrique *réflexe*, qui continuerait l'action électrique primitive et qui pourrait être modifiée suivant la nature de ces corps. Ce serait en quelque sorte une force d'amorcement analogue à celle qui, d'après la théorie de Volta, résulterait du contact physique des corps entre eux.

9° Si, après avoir fait passer pendant un temps assez long un courant à travers un électrolyte, on vient à le faire passer en sens contraire pendant un temps beaucoup plus court, le courant de polarisation qui se trouve alors constaté correspond au dernier sens du courant principal qui a traversé l'électrolyte; mais il ne dure pas, et, au bout de quelques instants, il disparaît pour faire place à un autre de sens inverse qui correspond à la première électrisation de l'électrolyte. Cet effet est général pour tous les électrolytes constitués par des corps simplement humides et même par des liquides ne produisant que des gaz à la suite de l'électrolysation; mais ils sont beaucoup plus distincts et plus faciles à analyser avec le silex dont il a été question. En étudiant séparément les courants produits dans ce cas par les électrodes et la pierre, on reconnaît que le courant de polarisation constaté en premier lieu est déterminé par les électrodes, et que le second provient du corps électrolysé lui-même: d'où il résulterait que deux polarités électriques contraires pourraient être superposées sans se détruire réciproquement. Si l'on se

Digitized by Google

reporte aux déductions que nous avons formulées précédemment, ces effets peuvent s'expliquer assez facilement. En effet, le premier courant principal, agissant pendant un temps relativement long, aura polarisé non-seulement les électrodes qui recouvrent toujours le premier effet, mais encore les particules conductrices de l'électrolyte qui, à elles seules, peuvent, comme on l'a vu, provoquer un courant assez énergique. Lorsque le second courant principal traverse l'électrolyte en sens inverse, son action se porte d'abord sur les électrodes, qu'il dépolarise facilement en raison de leur bonne conductibilité, pour les constituer électriquement d'une manière en rapport avec sa direction; et, comme il ne dure pas assez longtemps pour que les effets qu'il provoque pénètrent profondément à l'intérieur de l'électrolyte, les premiers effets subsistent, et cela d'autant plus que les polarités alors communiquées aux particules conductrices se trouvent être en sens contraire de ce qu'elles devraient être pour que les gaz condensés pussent entrer en combinaison. Leur action se trouve donc momentanément paralysée et ne peut devenir efficace que quand les effets de polarisation dus à la seconde électrisation se sont évanouis.

10° Il résulte du passage d'un courant à travers les corps médiocrement conducteurs une polarisation telle des molécules qui les composent, qu'après même que tout courant de polarisation a cessé, son action se retrouve encore dans les effets électriques qui succèdent; ainsi, quand on produit, à travers un électrolyte du genre de ceux dont nous parlons, une série de fermetures du courant principal, dans le même sens, et qu'on attend avant de les effectuer que les courants de polarisation qui sont successivement déterminés soient annulés, on trouve que la durée de ces courants et leur énergie sont d'autant plus grandes que le nombre de courants transmis est lui-même plus grand, et en même temps l'intensité du courant principal s'affaiblit à chaque fermeture.

11° Quand le corps médiocrement conducteur traversé par un courant ne jouit pas d'une conductibilité électrolytique bien marquée, il se produit des effets qui ne sont autres que ceux résultant de l'électrification du corps lui-même. Ainsi l'on obtient dès le début une déviation galvanométrique plus ou moins marquée, qui n'est que le résultat d'un courant de charge dû à la condensation; puis ce courant diminue d'intensité à mesure que la charge se rap-

Digitized by Google

proche de l'état statique, c'est-à-dire à mesure que la tension électrique du corps atteint celle de la pile, et il ne subsiste plus qu'un faible courant dû à la conductibilité électrotonique des molécules du corps électrisé, et qui n'est perceptible qu'avec le système à réflexion de Thomson. Dans ces conditions, et avec les petites électrodes employées, on ne peut obtenir qu'un courant de polarisation ou de décharge à peine appréciable.

12° Les conséquences ordinaires des effets de polarisation sont, comme on le sait, l'affaiblissement successif du courant que l'on transmet; cependant, avec les corps médiocrement conducteurs, de la nature du silex employé dans mes diverses expériences, il n'en est pas toujours ainsi, et, lorsque l'humidité est suffisante, le courant en question augmente toujours d'intensité avec la durée de la fermeture du circuit. Quand, au contraire, le corps est très-peu humide, il s'affaiblit rapidement et peut même s'annuler avec certaines pierres poreuses au bout d'un certain temps. D'autrefois on remarque que le courant augmente d'énergie, quand il traverse le corps médiocrement conducteur dans un certain sens, et diminue pour l'autre sens. Ces effets proviennent quelquefois de courants locaux qui tendent à se développer au sein de la pierre; mais ils tiennent le plus souvent à la facilité plus ou moins grande que rencontre le courant à pénétrer la matière, laquelle est généralement plus sèche dans sa partie centrale qu'à la périphérie. Si la pierre est convenablement pénétrée par l'humidité, le courant, d'abord transmis faiblement dans sa partie superficielle, augmente successivement d'intensité à mesure que les parties plus intérieures prennent part à la conduction générale, et d'ailleurs l'induction latérale qui se produit alors pour la polarisation des molécules intérieures empêche à elle seule le courant d'atteindre immédiatement sa période permanente. Il en résulte que les effets de polarisation résultants ne sont pas alors assez forts pour contre-balancer ce surcroît d'intensité électrique. Si, au contraire, la pierre est assez résistante intérieurement pour ne pas être pénétrée facilement par l'action électrique, la conduction se fait surtout par la partie superficielle, et dès lors les effets de polarisation, devenant prépondérants, diminuent l'intensité du courant, et cela d'autant plus que la couche humide, étant alors très-mince, se trouve transformée promptement dans ses éléments gazeux. C'est pour cette même raison que le cou-

Digitized by Google

rant qui traverse une même pierre augmente d'intensité quand il a une certaine tension, et diminue au contraire de force quand il n'en a qu'une faible. J'entre, du reste, dans de grands détails à ce sujet dans mon Mémoire sur la conductibilité des corps médiocrement conducteurs, inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique* de 1876.

De la diffraction dans les instruments d'Optique; son influence sur les observations astronomiques; par M. Ch. André.

Pouvoir séparateur. — Pouvoir optique. — On sait que l'image d'un point lumineux, assez brillant et suffisamment éloigné, produite dans le plan focal d'un objectif ou d'un miroir aplanétique, se compose d'un disque central, où l'éclairement décroît rapidement à partir du centre, et qui est entouré d'anneaux brillants dont les intensités sont rapidement décroissantes, comme le montre le tableau suivant :

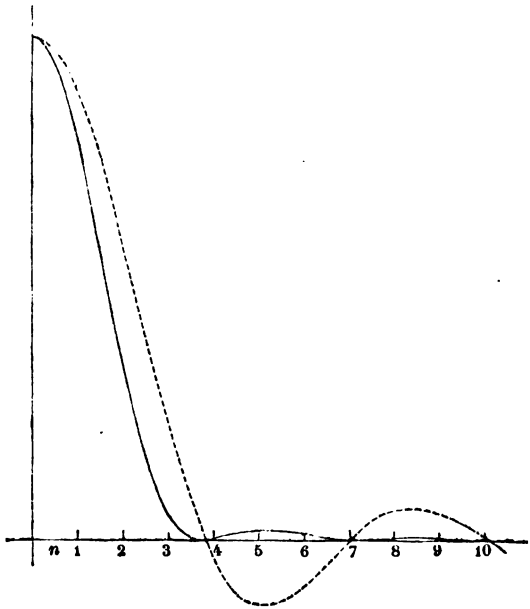
Centre de l'image.....	1
Premier maximum	$\frac{1}{50}$
Deuxième maximum.....	$\frac{1}{240}$
Troisième maximum.....	$\frac{1}{620}$

Les dimensions de ce disque central et des anneaux qui l'entourent dépendent d'ailleurs du diamètre de l'objectif ou du miroir; elles se *réduisent à zéro* pour un objectif de *diamètre infini,* et sont de plus en plus grandes, à mesure que l'on se sert d'un objectif de plus en plus petit, ou, ce qui revient au même, à mesure que l'on diaphragme de plus en plus un même objectif par ses bords, de sorte que, si l'on construit (*fig.* 1) (ligne pleine) une courbe, dont les ordonnées représentent les intensités lumineuses aux différents points de l'image donnée par une lunette déterminée, et qui ait pour abscisses les distances angulaires de ces points à l'axe de la lunette, cette *courbe des intensités* représentera les phénomènes pour un objectif d'ouverture quelconque, à la condition de faire varier l'échelle des abscisses, de telle sorte que l'abscisse qui

Digitized by Google

correspond à la distance angulaire *un* croisse proportionnellement à l'ouverture employée.

Fig. 1.



Il en résulte qu'on ne peut, avec un objectif donné, séparer nettement l'une de l'autre deux étoiles dont la distance angulaire est inférieure au diamètre du disque central qui correspond à son ouverture. C'est ce que Dawes et Foucault ont exprimé en disant que le *pouvoir séparateur* ou le *pouvoir optique* d'un objectif était proportionnel à son ouverture.

Si, au lieu de diaphragmer par les bords un objectif déterminé, de 30 centimètres d'ouverture par exemple, on le diaphragme par le centre, le diamètre du disque central diminue, au contraire, peu à peu à mesure que le diamètre de l'écran central augmente; il tend vers une *limite minimum*, qui est atteinte lorsque la partie laissée nue de l'objectif est réduite à une *bande marginale infiniment étroite*. Il y a donc là un moyen, qui d'ailleurs a été souvent employé, d'augmenter le pouvoir séparateur d'un objectif donné; mais, en même temps, les intensités lumineuses des anneaux brillants éloignés sont devenues des fractions de plus en plus

Digitized by Google

grandes de celles du centre à mesure que les dimensions de l'écran central ont augmenté, de sorte que, en s'opposant à l'effet optique des parties centrales de l'objectif, on a pour ainsi dire chassé la lumière du centre de l'image.

Tous ces faits, dont j'ai donné la théorie ([1]), montrent que, dans aucun cas, on ne doit considérer comme se réduisant à un point l'image d'une source lumineuse infiniment petite, donnée par une surface aplanétique réfringente ou réfléchissante.

L'image d'une source de diamètre apparent sensible du Soleil, de la Lune et des planètes, donnée par les mêmes instruments, doit-elle être au contraire réduite à son image géométrique ? L'inverse paraît probable au premier abord, et je vais chercher à démontrer qu'il en est réellement ainsi. J'emploierai dans ce but le moyen suivant :

Solide de diffraction. — Si l'on fait tourner autour de son axe vertical la courbe des intensités qui correspond à l'image focale d'un point lumineux donné par un objectif ou un miroir, on engendre un certain solide de révolution que j'appelle *solide de diffraction*, et qui est l'image et comme la représentation immédiate des phénomènes lumineux existant dans le plan focal de la lunette; car, si l'axe de ce solide coïncide avec celui de la lunette, la quantité de lumière répandue sur un élément du plan focal est évidemment proportionnelle à la fraction cylindrique du volume de ce solide qui a pour base l'aire considérée.

Si l'ouverture de la lunette vient à changer, les dimensions tranversales de ce solide changent aussi (nous ne tenons pas compte des variations d'intensité qu'introduit le changement d'ouverture): elles diminuent si le diamètre de l'objectif augmente, croissent dans l'hypothèse inverse. Avec la restriction précédente, les apparences produites par un point lumineux, dans des objectifs de différentes ouvertures, sont donc les mêmes que celles que l'on obtiendrait, d'après les lois de l'Optique géométrique, en observant, avec une même lunette, ce solide placé comme nous l'avons dit

---

([1]) *Étude de la diffraction dans les instruments d'Optique; son influence sur les observations astronomiques.* (*Annales de l'École Normale supérieure*, t. V, p. 289, 1876.)

Digitized by Google

plus haut, mais à des distances (suffisamment grandes) proportionnelles aux diamètres des différents objectifs.

D'un autre côté, l'observation a montré que les différents éléments, ou points lumineux, dont se compose une source lumineuse de dimensions finies, sont à un instant quelconque dans des phases différentes de leur période de vibration ; de telle sorte que les mouvements qu'ils envoient en un point quelconque ne peuvent jamais interférer, et que l'intensité lumineuse en ce point est la somme des intensités qu'y produirait chacun des éléments de la source pris isolément.

L'intensité lumineuse sur un élément superficiel du plan focal est donc représentée par la somme des volumes des parallélépipèdes élémentaires qui lui correspondraient successivement dans le *solide de diffraction* caractéristique de l'ouverture employée [1], si l'on plaçait son axe successivement au centre de chacun des éléments lumineux dont la source est formée : en d'autres termes, quelle que soit la forme donnée à l'ouverture de l'instrument dont on se sert, l'intensité lumineuse en un point quelconque M du plan focal s'obtient comme il suit :

Théorème. — *On place le solide de diffraction, caractéristique de l'ouverture, de façon que son axe perpendiculaire au plan focal passe par le point* M ; *toute la portion cylindrique du volume de ce solide comprise dans l'image de la source, telle qu'elle résulte des lois de l'optique géométrique, mesure l'intensité lumineuse au point* M.

Pour bien faire comprendre l'usage de ce théorème, je l'appliquerai successivement à différentes formes d'ouvertures et aussi à des sources lumineuses de formes diverses.

II. — Ouverture entière.

A. La source est une fente infiniment petite, une droite lumineuse. — J'étudierai d'abord le cas où une seule des dimensions de

---

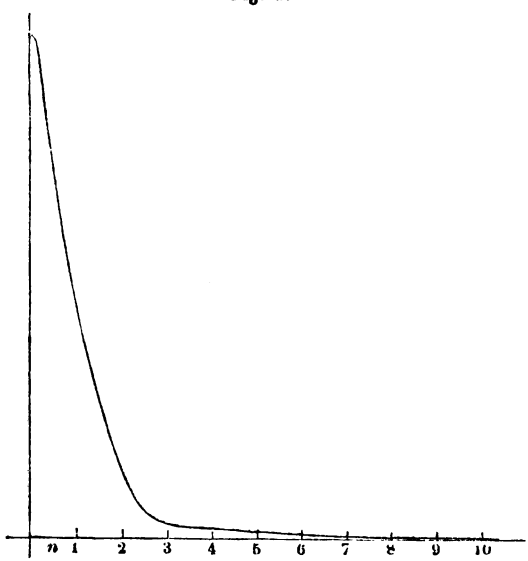
[1] En théorie, ce solide de diffraction s'étend indéfiniment dans un sens perpendiculaire à son axe. En pratique, on doit le limiter au minimum à partir duquel l'intensité lumineuse est insensible.

Digitized by Google

l'image géométrique de la source acquiert une valeur finie, que je supposerai d'ailleurs assez grande. Dans le plan focal d'un objectif ou d'un miroir aplanétique, les phénomènes lumineux sont alors tout différents, suivant que le point considéré est sur la direction même de la ligne lumineuse, ou qu'il est, au contraire, d'un côté ou de l'autre de cette ligne.

1° *Sur la ligne lumineuse ou son prolongement.* — Au milieu de l'image géométrique de la source, l'intensité est égale à la surface de la section méridienne du solide de diffraction : il en est ainsi jusqu'au point A, tellement situé, que le bord de ce solide, placé comme nous l'avons dit, coïncide alors avec celui de la fente. A partir de là, l'intensité lumineuse va en diminuant progressivement, et elle est pour chaque point égale à la surface entière de la

Fig. 2.



section méridienne diminuée de la partie graduellement croissante qui se trouve en dehors de la fente : au bord de cette fente, l'intensité est la moitié de ce qu'elle est depuis le milieu jusqu'au point A; au delà de l'image géométrique, l'intensité diminue encore progressivement et d'une façon continue, jusqu'à ce que l'on se soit assez éloigné pour que l'autre bord de la section méridienne du

Digitized by Google

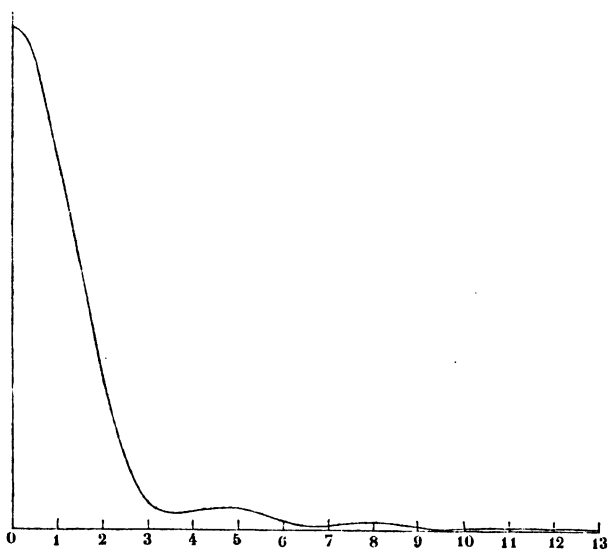
solide de diffraction coïncide avec le bord géométrique de l'image.

Ainsi, vers les extrémités de la ligne lumineuse, et avant que ses limites géométriques soient atteintes, l'intensité cesse d'être constante : une portion de la lumière est rejetée en dehors, et il se produit une *zone de lumière diffractée*, d'étendue d'autant plus grande que l'ouverture de la lunette est plus petite, dont une partie est intérieure à la ligne, l'autre partie lui étant extérieure, et où l'intensité lumineuse décroît d'une façon continue.

La *fig.* 2 représente les valeurs de l'intensité lumineuse dans la partie de cette zone de lumière diffractée extérieure à la fente elle-même : l'intensité au bord géométrique est prise pour unité.

2° *Sur une direction perpendiculaire à la ligne lumineuse.* — Pour plus de simplicité, supposons la ligne lumineuse infiniment longue. L'intensité sera alors la même en tous les points d'une droite parallèle à la source ; elle y sera égale à l'aire de la section faite dans le solide de diffraction par un plan mené parallèlement à celui de la section méridienne, à une distance de l'axe égale à celle de la droite et de la source.

Fig. 3.



La *fig.* 3, qui représente les aires de ces différentes sections,

Digitized by Google

montre que, de part et d'autre de l'image géométrique de la fente, l'intensité lumineuse, d'abord graduellement décroissante, à mesure que l'on s'éloigne de l'image géométrique, passe bientôt, comme dans le cas d'un point lumineux, par une série de minima et de maxima. Mais il y a entre les deux cas une différence profonde ; avec une fente lumineuse, l'intensité n'est pas nulle dans les points qui correspondent aux minima.

B. **Les dimensions angulaires de la source sont comparables à celles du solide de diffraction.** — Si la source, au lieu d'être réduite à une simple ligne, est une fente de plus en plus large, les apparences lumineuses qui viennent d'être indiquées se transforment d'une façon continue. L'intensité en un point du plan focal est alors proportionnelle, non plus à la surface d'une section du solide de diffraction, mais à la portion du volume de ce solide comprise entre deux de ces sections, de plus en plus distantes l'une de l'autre, à mesure que la largeur de la fente va en augmentant.

Les phénomènes sont donc les suivants :

Sur la ligne médiane de l'image géométrique de la fente, l'intensité lumineuse est maximum; elle décroit ensuite immédiatement de part et d'autre de cette ligne d'une façon progressive, pour aboutir, au delà des limites de l'image géométrique, à une série de maxima et de minima, dont les intensités diffèrent d'autant moins de celles des parties voisines que le diamètre angulaire de la fente est lui-même plus grand. Lorsque ce diamètre angulaire est devenu égal à celui du solide de diffraction caractéristique de l'ouverture employée, toute trace de maxima ou de minima lumineux a disparu dans le plan focal; l'éclairement y varie alors d'une façon continue depuis le milieu de l'image géométrique jusqu'à ce qu'il devienne insensible.

C. **Le diamètre apparent de la source est très-grand dans toutes les directions.** — Nous examinerons maintenant le cas véritablement utile en Astronomie, celui où le diamètre apparent de la source est très-grand dans toutes les directions; et, pour préciser, nous supposerons que ce diamètre soit assez grand pour qu'on puisse, en chaque point, considérer comme rectilignes les bords de la source lumineuse.

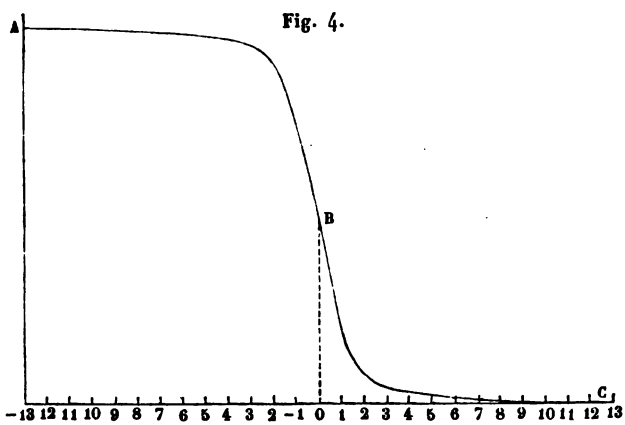
En appliquant le théorème général que nous avons énoncé en

Digitized by Google

commençant, on voit aisément que l'image focale de la source se compose alors de deux portions : l'une semblable à son image géométrique, dépendant de sa forme et de ses dimensions apparentes, mais d'autant plus grande que l'ouverture employée est plus grande, et où l'éclairement est constant et maximum; l'autre, contiguë à la première, lui faisant suite et l'entourant de toutes parts, dont la forme varie avec celle de la source, mais dont l'étendue angulaire ne dépend que de la grandeur de l'ouverture employée : cette seconde portion de l'image focale empiète en partie sur l'image géométrique, et l'éclairement y va en décroissant progressivement jusqu'à ce que, après avoir été réduit à moitié aux limites de l'image géométrique, il devienne bientôt complétement insensible.

Dans une lunette ou dans un télescope, l'image géométrique de toute source lumineuse d'un diamètre apparent suffisamment considérable se trouve donc accompagné d'une *zone de lumière diffractée*, d'étendue angulaire variable avec l'ouverture de l'instrument; et, pour trouver l'intensité lumineuse aux différents points de cette zone, il faut, dans le cas qui nous occupe, calculer les positions successives du volume du solide de diffraction séparées par un plan, qui se déplace parallèlement à lui-même, et à l'axe de ce

Fig. 4.



solide depuis l'un de ses bords jusqu'à l'autre. Je les ai représentées dans la *fig.* 4, où l'abscisse zéro correspond aux limites géométriques de l'image.

Digitized by Google

D. Constante de diffraction instrumentale. — L'étendue de la zone de lumière diffractée, dans laquelle l'intensité lumineuse est assez grande pour impressionner la rétine, dépend évidemment, toutes choses égales d'ailleurs, de l'éclat de l'astre observé. Mais, si celui-ci est assez brillant, on doit admettre que cette limite d'intensité est une fraction constante de l'intensité maximum de l'image focale, et, par suite, correspond à une même valeur de l'abscisse, quelle que soit l'ouverture de la lunette qui sert aux observations. Cela revient à dire que *le diamètre d'un astre suffisamment brillant et observé sur un fond identique varie avec l'ouverture de l'instrument employé.*

Si l'on admet que dans cette zone diffractée on cesse de percevoir la lumière dès que son intensité est le *trentième* de celle de la portion où l'éclairement est constant, on voit que, pour un objectif de 10 centimètres d'ouverture, cette zone diffractée extérieure a une étendue angulaire égale à $1'',4$.

En d'autres termes, en vertu même des propriétés de l'agent lumineux au foyer d'un objectif aplanétique, le diamètre de l'image focale d'une source, dont l'étendue angulaire est suffisamment grande, est égale à son diamètre géométrique augmenté d'une certaine quantité variable avec l'ouverture de l'instrument, et qui pour un objectif de 10 centimètres atteint théoriquement la valeur de $2'',8$.

Relativement à la mesure des diamètres des astres d'une certaine étendue angulaire, le Soleil, la Lune et les planètes, chaque objectif ou chaque miroir est donc caractérisé, comme pour la séparation des étoiles multiples, par une constante déterminée, qui diffère d'ailleurs de son pouvoir séparateur et qui varie, comme lui, avec l'intensité même de la source.

Nous appellerons cette nouvelle constante *constante de diffraction instrumentale*, pour bien en rappeler l'origine; et avec les hypothèses que nous avons faites et les restrictions qui les ont accompagnées, nous sommes autorisés à dire que, pour un objectif ou un miroir de 10 centimètres d'ouverture, sa valeur est

$$2'',8.$$

Une autre conséquence également importante découle immédiatement de la théorie qui précède. Lors du passage d'une planète,

Digitized by Google

Vénus ou Mercure, sur le disque du Soleil, il existe pour celui-ci deux zones de lumière diffractée : la zone extérieure dont nous venons de parler et, en outre, une zone intérieure qui empiète sur la planète elle-même. Le diamètre de Vénus ou de Mercure, mesuré pendant le passage, devra donc être toujours plus petit que dans les conditions ordinaires d'observation; et, de plus, ce diamètre sera d'autant plus petit que l'ouverture de l'instrument sera moindre, la variation étant égale à la différence des constantes de diffraction instrumentale des instruments employés.

La vérification de ces deux lois a été faite comme il suit.

III. — Vérifications expérimentales.

1° Dans une lame de cuivre, argentée et polie sur une de ses faces, j'ai fait tailler une ouverture rectangulaire à arêtes bien rectilignes et de 2 centimètres de haut sur 1c,5 de large. On éclairait cette ouverture avec la lumière d'une lampe Drummond, tantôt par derrière pour avoir une source lumineuse directe, tantôt en avant et par réflexion pour avoir l'analogue d'une planète sur le disque du Soleil; on a obtenu ainsi :

Ouverture en centimètres.	Diamètre. Éclairage direct.	Éclairage réfléchi.	Différence des diamètres.
6,5	35",53	30",76	4",77
1,7	39,62	26,93	12,69
6,5	37,12	30,26	6,86
2,9	38,67	29,80	8,87
1,7	42,05	27,54	14,51

2° Dans une lame de laiton noircie, j'ai fait pratiquer deux ouvertures rectangulaires de 3 centimètres de haut sur 1c,5 de large, séparées par un espace de 1c,5, et dont les bords étaient bien rectilignes et taillés en biseau. En éclairant cette lame par derrière avec la flamme d'une lampe Drummond, on avait ainsi deux sources lumineuses d'un certain diamètre apparent, séparées l'une de l'autre par un intervalle obscur. Le diamètre extérieur était celui d'une source lumineuse directe; le diamètre intérieur correspondait évidemment au cas d'une planète mesurée sur le Soleil.

Digitized by Google

Cette disposition expérimentale était d'ailleurs préférable à la précédente; car, pour les deux diamètres, les conditions d'éclairement étaient identiques; j'ai obtenu ainsi, avec une excellente lunette de 4 pouces qui m'a été prêtée par MM. Brunner :

Ouverture en centimètres.	Diamètre extérieur.	Diamètre intérieur.
6,5	121",15	36",13
3,0	122,17	34,48
1,7	125,86	31,46

Avec une autre lunette de 4 pouces, de foyer un peu plus long, on a eu :

Ouverture en centimètres.	Diamètre extérieur.	Diamètre intérieur.
5,1	131",20	39,63
2,4	134,98	37,18
1,2	141,51	31,58

IV. — Vérification astronomique.

1° *Passages de Mercure et de Vénus.* — L'une des conditions essentielles que l'on doit rechercher, si l'on veut trouver dans les observations astronomiques la vérification de la loi que nous venons d'énoncer, est de ne comparer entre elles que les observations faites dans les mêmes conditions d'éclairement. Telles sont les mesures obtenues avec des instruments d'ouvertures différentes, mais de construction identique, lors d'un même passage de Vénus ou de Mercure sur le disque du Soleil.

Passage de Mercure du 4-5 mai 1832.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
Bessel...	Héliomètre..	0m,160	11",987	6",697
Gambart.	Équatorial...	0,070	9,290	5,184

Passage de Mercure du 8 mai 1845.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
J. Schmidt.	Lunette..	0m,068	10",853	6",057
Mädler....	Équatorial	0,224	11,754	6,542
Mitchel...	Équatorial	0,265	11,580	6,522

Digitized by Google

Passage de Mercure du 8-9 *novembre* 1848.

Observateur.	Ouverture.	Diamètre mesuré.
	m	
Dawes..	0,072	0,″369
Dawes.....	0,102	9,389
Arago.....	0,162	10,155

Passage de Mercure du 4 *novembre* 1868.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
		m		
C. Wolf....	Équatorial .	0,204	9,″430	6,″367
J. Plummer.	» ..	0,165	9,001	6,077
O. Struve...	» ..	0,064	6,840	4,618

Passage de Vénus du 8-9 *décembre* 1874.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
		m		
Ct Mouchez.	Équatorial.	0,217	64,″385	16,″992
Cl Tennant..	» ..	0,152	63,948	16,904

La vérification de la loi que nous cherchons à établir résulte du simple examen des tableaux qui précèdent; mais il y a plus, si, à l'aide des observations du passage de Mercure du 4 novembre 1868 et du passage de Vénus du 8-9 décembre 1874, on calcule la constante de diffraction instrumentale relative à une lunette de 10 centimètres d'ouverture, on trouve :

Pour le passage de Mercure.. 2″,795
Pour le passage de Vénus.... 2″,473

valeurs qui s'accordent de la manière la plus satisfaisante avec le nombre que nous a donné la théorie. Ainsi, lorsqu'une planète, fonctionnant comme corps opaque, limite une portion d'une source lumineuse très-intense, comme le Soleil, son diamètre diminue à mesure que l'ouverture de l'instrument augmente et la *constante de diffraction instrumentale,* relative à ce cas, peut être prise égale à

2″,634.

Digitized by Google

2° *Observations de jour et de nuit des différentes planètes.* — La comparaison des nombres qui précèdent avec ceux obtenus dans les conditions ordinaires d'observation conduit aux deux conclusions suivantes :

a. Le diamètre de Vénus, mesuré pendant le jour, est plus petit que celui que l'on obtient pendant la nuit avec un instrument de même ouverture.

b. Les diamètres de Vénus ou de Mercure, mesurés soit pendant la nuit, soit pendant le jour, sont plus grands que ceux obtenus lors des passages de ces deux planètes sur le disque du Soleil.

V. — Ouverture annulaire.

Lorsqu'on recouvre au moyen d'un écran la partie centrale d'un objectif ou d'un miroir, de façon à n'en laisser nue, vers les bords, qu'une portion annulaire, on augmente le pouvoir séparateur de cet objectif ou de ce miroir. On serait donc porté à croire qu'on diminue, par cela même, la valeur de la constante de diffraction instrumentale qui lui correspond.

En réalité, l'inverse a lieu, et cette constante se trouve ainsi augmentée. Cet exemple est une nouvelle preuve que la constante de diffraction instrumentale est une caractéristique différente et indépendante du pouvoir séparateur, dont celui-ci n'est, pour ainsi dire, qu'un cas particulier.

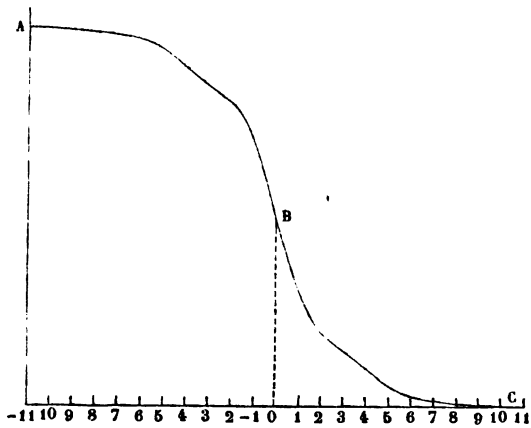
C'est qu'en effet l'interposition d'un écran central a modifié la forme du solide de diffraction, en augmentant le volume relatif des parties qui sont situées au delà du premier minimum. Les phénomènes de diffraction sont dès lors fort amplifiés relativement à ce qu'ils sont lorsque l'ouverture est entière.

Le diamètre de l'écran central est moitié de celui de l'objectif. — Pour le prouver, j'ai calculé les portions successives du solide de diffraction correspondant au cas où le diamètre de l'écran central est la moitié de celui de l'objectif; leurs valeurs successives sont représentées par les ordonnées de la *fig.* 5. Cette figure montre que le décroissement de la lumière n'est absolument continu ni dans l'intérieur de l'image géométrique, ni dans la zone de lumière diffractée extérieure. Après avoir diminué d'une façon progressive,

Digitized by Google

l'intensité lumineuse reste sensiblement constante dans une certaine étendue, d'autant moindre d'ailleurs que l'ouverture est plus

Fig. 5.



grande. Il semble donc que, par suite de la discontinuité imposée, par ce diaphragme particulier, à la surface utilisée de l'objectif, on a introduit dans l'image elle-même une discontinuité réelle.

J'ai vérifié ce fait non-seulement sur des astres artificiels, mais aussi sur le ciel avec le grand équatorial de la tour de l'ouest de l'Observatoire de Paris ; je réduisais pour cela à 8 centimètres l'ouverture de son objectif et j'en couvrais le centre avec un écran de diamètre moitié moindre. On voit alors, autour de l'image de la Lune, une bande lumineuse d'environ 15 secondes de large, assez peu intense relativement à l'éclairement central, mais dont la lumière paraît sensiblement égale à celle des parties intérieures auxquelles elle succède, et qui par suite ne se sépare nullement du reste de l'image.

Ce fait est important : en effet, il prouve qu'avec un astre, comme la Lune à son premier quartier et observée en pleine nuit, l'œil perçoit dans la zone diffractée extérieure une lumière dont l'intensité est à peu près le $\frac{1}{15}$ de l'éclairement constant et maximum. Avec une source aussi intense que le Soleil, cette limite de perception doit s'abaisser, et il n'y a rien d'impossible à admettre, comme je l'ai fait plus haut, qu'elle s'abaisse à $\frac{1}{30}$.

On voit, en outre, que la diminution de l'intensité de la lumière

Digitized by Google

dans la zone diffractée est beaucoup moins rapide dans ce cas que dans celui où l'ouverture était entièrement libre, de telle sorte que la constante de diffraction instrumentale théorique, au lieu d'être

$$2'',8,$$

sera, dans le cas actuel, égale à

$$4'',0.$$

Le diamètre d'une source lumineuse, d'étendue angulaire finie, doit donc paraître plus grand, avec ce mode de diaphragme, que lorsque l'objectif ou le miroir était entièrement nu.

Inversement, lors du passage de Mercure ou de Vénus sur le disque du Soleil, le diamètre de la planète mesuré avec un objectif ainsi diaphragmé doit être moindre que celui qu'on aurait obtenu avec l'objectif entièrement nu. C'est ce que confirment les observations faites par M. Stephan pendant le passage de Mercure du 4 novembre 1868.

VI. — Application a quelques faits astronomiques et physiques.

Occultation des étoiles par la Lune. — Le diamètre apparent d'un astre n'étant pas une quantité fixe en un lieu et à un instant déterminé, mais variant avec l'ouverture de l'instrument employé, toutes les observations d'un astre à diamètre apparent sensible faites dans des conditions où l'on n'a pu observer que l'un de ses bords doivent être corrigées de la *diffraction instrumentale*. J'ai montré par de nombreux exemples [1] combien d'anomalies apparentes cette correction nouvelle faisait disparaître. Je me contenterai d'étudier ici un cas particulier frappant, celui des occultations.

L'occultation d'une étoile par la Lune peut donner lieu à quatre observations différentes :

1° Disparition de l'étoile derrière le bord obscur de la Lune;
2° Réapparition de l'étoile au delà du bord obscur de la Lune;
3° Disparition de l'étoile derrière le bord éclairé de la Lune;
4° Réapparition de l'étoile au delà du bord éclairé de la Lune.

---

[1] *Annales de l'École Normale*, t. V, p. 289; 1876.

Digitized by Google

De ces quatre espèces d'observations la première est évidemment la plus précise; la dernière, au contraire, sujette aux causes d'erreur les plus considérables.

Quoi qu'il en soit, l'observation de l'un quelconque de ces quatre phénomènes détermine le point du limbe lunaire qui, à un instant donné, celui de l'occultation, a la même déclinaison et la même ascension droite que l'étoile occultée. On peut en déduire les coordonnées d'une *étoile fictive* qui serait, au même instant et pour un observateur placé au centre de la Terre, en contact avec le même point du bord de la Lune; et, par suite, la *distance angulaire* de cette étoile fictive au centre de la Lune, c'est-à-dire le *demi-diamètre lunaire déduit de chaque occultation observée.*

Si la théorie qui vient d'être exposée est exacte, il est certain que les *diamètres d'occultation* résultant des observations faites sur le bord obscur de la Lune seront toujours plus petits que ceux qui s'obtiendront avec les observations faites sur le bord éclairé, et plus petits de la valeur de la constante de diffraction instrumentale relative à l'instrument considéré. La discussion des nombres donnés par de nombreuses occcultations doit donc fournir une nouvelle vérification des principes dont on a essayé de donner la démonstration. Malheureusement les observations de réapparition d'étoiles au delà du bord éclairé de la Lune sont trop peu précises pour qu'on puisse les faire entrer en ligne de compte, et l'on doit se borner aux trois premiers phénomènes cités en commençant.

Je prendrai, comme exemple, les observations faites à Greenwich avec un instrument déterminé, l'équatorial Est [de 6,7 pouces anglais ($0^m,18$) d'ouverture], de 1838 à 1852, période pendant laquelle le diamètre de la Lune donné par le *Nautical Almanac* a différé d'une quantité constante de la valeur qui résulte des observations faites simultanément à Greenwich et à l'altazimut.

On a ainsi soixante-huit observations de disparition d'étoiles derrière le bord obscur, conduisant en moyenne au nombre

$$-1'',98$$

comme correction au diamètre adopté, et vingt-cinq observations de réapparition au delà du même bord, donnant en moyenne la correction

$$-3'',11;$$

Digitized by Google

à cause de la différence des deux observations, il est convenable de ne pas prendre ces deux nombres séparément, mais bien plutôt de ne considérer que leur moyenne, laquelle est

$$-2'',54.$$

D'un autre côté, la même période fournit quinze observations de disparition derrière le bord lumineux de la Lune, dont l'ensemble donne pour correction nouvelle

$$-0'',80.$$

La différence des deux est

$$1'',74,$$

tandis que la constante théorique de diffraction instrumentale de l'équatorial Est de Greenwich est de

$$1'',55.$$

L'accord de ces deux nombres est aussi complet que le comportent les incertitudes de l'observation, tout aussi bien que celles qui existent sur la valeur même de la constante théorique adoptée.

Irradiation. — L'explication de tous les faits d'irradiation sérieusement établis et cités dans les Mémoires de M. Plateau et de M. Baden Powell découle immédiatement de la théorie qui précède.

Observée à l'œil nu, c'est-à-dire avec une lunette de très-petite ouverture, une surface limitée, laissée en blanc sur un fond noir, doit nous sembler plus grande que la même surface, laissée en noir sur un fond blanc.

Ces différences deviennent, au contraire, insensibles si l'on se sert d'une lunette d'assez grande ouverture; l'œil a pris alors un rôle différent : au lieu de fonctionner comme lunette, il est devenu une portion du système oculaire d'une lunette composée, qui a pour ouverture l'ouverture de l'objectif employé.

Digitized by Google

SÉANCE DU 2 JUIN 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Favé, élève ingénieur hydrographe de la marine ; Wiesnegg, constructeur.

M. Alvergniat fait fonctionner devant la Société un radiomètre formé de deux moulinets indépendants et superposés, dont les faces noircies sont opposées et tournent en sens inverse.

M. Govi fait connaître un appareil qui permet de viser, suivant une même direction et dans une même lunette, des objets situés dans des azimuts rectangulaires, par exemple une grandeur à mesurer et une échelle placée dans un plan vertical perpendiculaire à celui qui passe par l'axe de la lunette.

M. Gernez indique un procédé susceptible d'une grande précision pour déterminer la température de solidification d'un corps, et il applique ce procédé à l'étude des particularités que présente le soufre.

A propos de la communication de M. Tommasi, relative aux effets que produit la dilatation de l'huile dans un tube fermé, M. William Grosseteste écrit pour faire connaître un appareil inventé par M. de Peyer, ingénieur à Thun (Suisse), appareil qui a reçu déjà de nombreuses applications.

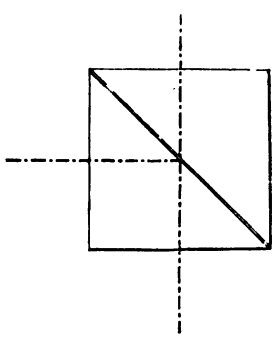
Application des couches d'or très-minces au perfectionnement des cathétomètres et des autres instruments de mesure ; par M. Govi.

On sait depuis longtemps que l'or en feuilles est transparent, et Faraday a même fait connaître de curieuses propriétés optiques dont jouissent les couches très-minces d'or et de quelques autres métaux. Il n'en est cependant aucun, parmi ceux qu'on a pu étudier jusqu'ici,

Digitized by Google

dont la transparence soit plus grande que celle de l'or. Quand on précipite ce métal en couches très-minces sur du verre préalablement lavé avec de l'acide azotique, de la potasse et de l'alcool pur, on peut en obtenir des voiles qui se laissent traverser par la lumière sans la colorer davantage que du *crown vert* de Dollond, et qui jouissent cependant d'un pouvoir réflecteur assez considérable. On dépose l'or sur le verre en faisant agir une solution d'aldéhyde sur du chlorure d'or alcalinisé par de la soude. Les voiles d'or ainsi obtenus ne seraient d'aucune utilité si on les étalait sur des lames de verre à faces planes et parallèles, car le moindre frottement les enlèverait, et la réflexion, par suite de la grande transparence de l'or, y donnerait des images doubles toutes les fois que les objets réfléchis ne seraient pas à des distances très-grandes. Mais si l'on couvre d'un voile d'or la face hypoténuse d'un prisme rectangle en verre (*fig.* 1), et si, après l'avoir chauffée, on la colle avec du baume du Canada contre l'hypoténuse d'un second prisme égal au premier, on obtient un cube transparent à section diagonale d'or, qui permet d'utiliser le léger voile métallique à peu près comme s'il était rigide et libre dans l'espace. Avec un de ces cubes, pendant qu'on regarde à travers deux de ses faces opposées et qu'on voit par transparence les objets légèrement teintés d'une nuance aigue-marine, on peut apercevoir en même temps d'autres objets réfléchis sur la

Fig. 1.



couche d'or qui donne à leurs images une légère coloration jaune. Ces deux images simultanées sont vues très-distinctement par l'œil, pourvu qu'elles soient d'égale intensité, et qu'elles proviennent d'objets également éloignés.

Digitized by Google

Cette espèce de miroir métallique transparent a pu déjà être appliquée à la construction d'un grand nombre de *chambres claires,* pour le dessin d'après nature, pour le microscope, pour les longues-vues, pour les télescopes, etc., et l'on a eu ainsi, outre tous les avantages des anciennes *chambres claires,* celui d'employer la pupille tout entière à la vision de chacune des deux images. Le dessinateur n'est plus alors assujetti à une immobilité gênante, mais il peut remuer la tête et déplacer l'œil à son gré sans jamais perdre de vue aucune des deux images dont il a besoin pour son travail.

Ces mêmes voiles d'or ont pu servir encore à la construction des sextants, des microscopes à plusieurs oculaires, des loupes micrométriques, etc., etc., et pourront recevoir beaucoup d'autres applications.

Parmi ces applications, il en est une dont nous allons parler et qui intéresse les physiciens, puisqu'elle a pour objet de simplifier et d'améliorer le cathétomètre. Cet instrument, tel qu'on a l'habitude de le construire, consiste en une lunette horizontale qu'on peut faire monter ou descendre le long d'une règle verticale divisée en millimètres et mobile autour d'un axe également vertical. Le cathétomètre n'est bon que s'il maintient l'axe optique de la lunette parfaitement horizontal pendant une rotation complète de la règle autour de la verticale. La plus légère déviation de la lunette tournante peut causer des erreurs considérables dans l'évaluation des hauteurs à mesurer. L'échelle divisée de l'instrument ne peut jamais avoir la précision qu'aurait une règle homogène, divisée à une température constante, dont on connaîtrait exactement le coefficient de dilatation, et qui n'aurait à subir aucune compression, aucun frottement, ni aucun tiraillement pendant la durée des expériences. Il est en outre assez fâcheux que l'observateur doive se tenir si près de cette échelle, puisque la chaleur de son corps ne peut manquer d'en altérer sensiblement et irrégulièrement les dimensions, sans qu'il soit toujours possible de les corriger d'après des observations thermométriques. On a essayé d'amoindrir ces inconvénients en plaçant la règle divisée à côté et à une certaine distance de l'observateur et de la longueur à mesurer. En visant alors l'objet avec la lunette, puis faisant tourner celle-ci de manière à la diriger sur l'échelle divisée, on peut y lire la division correspondante ; mais cette manœuvre suppose que l'axe optique de la lunette

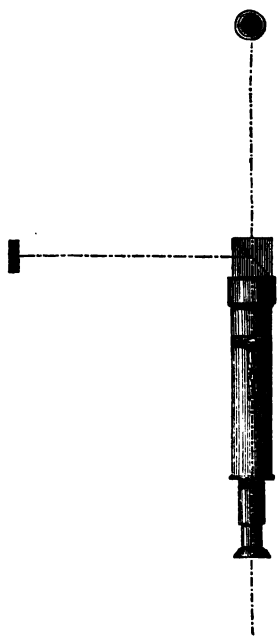
Digitized by Google

demeure dans un même plan horizontal pendant sa rotation, ce qui est excessivement difficile à réaliser et plus difficile encore à conserver quand on emploie souvent le cathétomètre.

L'usage d'un cube à section diagonale dorée permet au contraire de viser simultanément l'objet à mesurer et la règle divisée, assez éloignés l'un de l'autre et du corps de l'observateur, sans qu'il y ait jamais à craindre de dérangement relatif dans la direction des lignes visuelles.

Qu'on suppose pour cela un de ces cubes appliqué avec une face devant l'objectif de la lunette (*fig.* 2), de manière à le couvrir tout entier, son plan doré étant tourné vers l'échelle divisée et ayant sa section principale horizontale. Il est évident, dans ce cas, que l'objet sera vu par transparence à travers la couche d'or, sans que l'image en soit déformée par le cube de verre à faces parallèles, qui la colorera seulement d'une légère teinte glauque. L'échelle pourra être vue en même temps par réflexion sur la face dorée et paraîtra légèrement jaunie. Si l'objet et l'échelle sont à la même distance de l'objectif, les deux images seront vues simultanément avec la même netteté et l'observateur n'aura plus qu'à lire la division de l'échelle qui correspond à un point donné de l'objet.

Fig. 2.



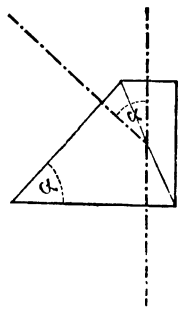
On évite donc ainsi l'échelle attachée au support de la lunette et sa rotation autour d'un axe vertical; la règle divisée est indépendante, éloignée, stable, et l'on a par conséquent bien moins d'erreurs à craindre dans les observations.

Deux niveaux en croix sur la lunette permettront d'assurer constamment l'horizontalité des deux axes visuels orthogonaux, et de la rétablir dans le cas où le transport de la lunette le long de la verticale aurait pu la déranger. Un seul niveau sphérique pourrait remplir le même but.

Digitized by Google

On pourrait construire des prismes réflecteurs pour observer simultanément dans deux azimuts comprenant entre eux un angle α quelconque, en dorant la base (*fig.* 3) d'un prisme isoscèle d'angle α, et en collant contre cette base l'hypoténuse d'un prisme rectangle

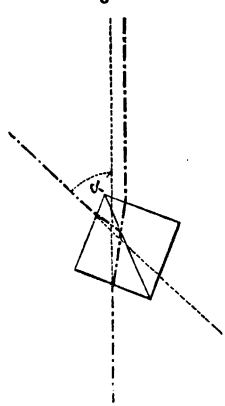
Fig. 3.



dont un des angles aigus serait égal à $\frac{\alpha}{2}$. Les rayons entrés par une des faces du premier prisme, après avoir été réfléchis par la face dorée, sortiraient normalement par la seconde face, et se confondraient ainsi avec ceux qui, ayant traversé directement le cathète du second prisme, iraient rencontrer la même face de sortie.

Il serait possible aussi de viser dans des azimuts différents, en

Fig. 5.



faisant tourner le cube réflecteur (*fig.* 4) autour d'un axe parallèle à l'une des arêtes contenues dans le plan diagonal doré.

Digitized by Google

Si l'on voulait employer des objectifs différents, il faudrait placer le cube à face dorée entre l'objectif et l'oculaire, et fixer les deux tuyaux portant les objectifs devant les deux faces actives du cube. Il serait possible, de la sorte, de grossir différemment les images des deux objets observés, et de mettre la lunette au point pour tous les deux en même temps, quoique situés à des distances différentes par rapport aux objectifs qui les regardent. Il n'y aurait qu'à donner dans ce cas un certain tirage aux tuyaux qui portent les objectifs pour pouvoir amener sur le même plan oculaire l'image directe et l'image réfléchie.

Pour vérifier ce cathétomètre, il suffit de substituer momentanément à l'objet qu'on doit observer une règle divisée exactement égale à la règle type, et de la comparer avec celle-ci. Les faces divisées des deux règles doivent être mises verticalement à l'aide de fils à plomb, et il faut les soutenir de manière qu'elles n'éprouvent pas de déformation sensible.

Les miroirs percés et les petits miroirs ou les petits prismes n'occupant qu'une partie de l'objectif, qu'on a employés dans quelques cas, sont bien inférieurs aux couches d'or transparentes enfermées dans des prismes de verre, puisqu'ils n'utilisent qu'une portion limitée des lentilles et donnent naissance, par conséquent, à deux images d'une netteté très-différente. La transparence des couches d'or est telle, qu'on pourrait même superposer les images de trois objets situés dans trois directions différentes en se servant de deux cubes à plan diagonal doré, placés l'un devant l'autre.

L'argent, le platine, etc., peuvent donner aussi des voiles réfléchissants et transparents à la fois, mais aucun de ces métaux n'a pu être obtenu jusqu'à présent en couches assez minces et assez continues pour pouvoir remplacer l'or, dont la nuance jaune (qu'on pourrait neutraliser, au besoin, par un verre bleu) n'a, du reste, aucun inconvénient pour les observations.

Digitized by Google

Détermination de la température de solidification des liquides, et en particulier du soufre; par M. D. Gernez.

La détermination de la température à laquelle s'effectue le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, ou le passage inverse, présente, malgré son apparente simplicité, des incertitudes qui n'ont été dissipées que pour un nombre de substances relativement restreint, même lorsque le changement d'état se produit brusquement, c'est-à-dire lorsque le corps solide devient subitement liquide pour une variation infiniment petite de la température. La lenteur avec laquelle se produit la fusion d'un corps dans un bain à température constante peu supérieure au point de fusion et l'imparfaite conductibilité des substances qui permet à certaines régions du liquide d'atteindre des températures superieures à celle de la partie non fondue ont conduit à substituer à la détermination du point de fusion celle, *supposée* identique, du point de solidification ; mais il arrive souvent dans ce cas que les mesures se trouvent faussées par suite des phénomènes de surfusion. On peut, comme je vais l'indiquer, utiliser ces phénomènes pour déterminer la température de solidification des liquides avec une précision qui n'est limitée que par la patience de l'expérimentateur.

A cet effet, on met dans un tube de verre de 3 centimètres de diamètre, fermé à un bout, une quantité du corps solide telle, qu'à l'état liquide il forme une couche de 5 à 6 centimètres de hauteur ; on dispose, suivant l'axe du tube, un thermomètre retenu par un bouchon et dont le réservoir, assez petit pour n'avoir sur la température du liquide ambiant qu'une influence négligeable, descend jusqu'à quelques millimètres du fond du tube sans le toucher; puis on détermine la fusion du corps en l'introduisant dans un bain d'eau ou de paraffine de quelques degrés supérieur au point de solidification présumé. Lorsque le corps est entièrement fondu, on amène le tube dans un bain à température constante inférieure à la température cherchée, et l'on attend que les indications de deux thermomètres, l'un intérieur, l'autre extérieur, ne diffèrent que très-peu. On accélère ce résultat en faisant tourner le tube autour

Digitized by Google

de son axe, ce qui ne provoque pas la solidification, à moins que, dans ce mouvement, le thermomètre ne frotte contre les parois du tube baignées par le liquide. Le corps étant ainsi à l'état de surfusion, on introduit par un deuxième trou du bouchon une fine aiguille de verre dont l'extrémité est recouverte d'une très-petite quantité de la matière à l'état pulvérulent, et l'on amène cette extrémité dans le liquide dont elle détermine aussitôt la solidification. Pour activer le phénomène, on fait tourner le bouchon autour de son axe, ce qui déplace la tige et promène cylindriquement les germes cristallins autour du thermomètre. On suit alors les indications de cet instrument, qui atteint bientôt un maximum, lequel n'est sûrement pas supérieur au point de solidification, mais peut lui être inférieur. On recommence alors l'expérience en prenant pour température du bain ambiant le maximum précédent, et, en opérant de la même manière, on détermine la solidification du liquide; on trouve que le thermomètre indique un maximum supérieur au précédent. Après deux ou trois essais de ce genre, on arrive à des températures qui ne diffèrent les unes des autres que d'une fraction de degré négligeable; on prend la température la plus élevée pour température de solidification de la substance, en lui faisant subir la correction provenant de ce que toute la tige du thermomètre n'est pas baignée par le liquide.

J'ai mis à profit la précision que comporte ce procédé, notamment pour éclaircir les diverses particularités que présente le changement d'état du soufre, et voici quels sont les principaux résultats auxquels je suis parvenu :

Le résultat le plus simple est relatif au soufre insoluble dans le sulfure de carbone obtenu par épuisement de la fleur de soufre : la solidification de cette variété se produit à 114°,3, quelle que soit la température à laquelle on l'ait fondue ; ainsi, dans toutes les expériences, je n'ai pas trouvé une différence supérieure à $\frac{1}{10}$ de degré entre la température de solidification de soufre qui a été porté à l'ébullition et celle où se solidifie le même corps qui n'a été chauffé qu'à 170 degrés et même à 121 degrés.

Cette constance du point de solidification ne se retrouve pas dans les autres variétés. Pour le soufre octaédrique, la température de solidification est la plus élevée quand on a produit la fusion à la

Digitized by Google

température la plus basse possible, par exemple à 121 degrés : dans ce cas, elle atteint 117°,4 ; si l'on a porté le liquide à 144 degrés, elle n'est plus que 113°,4 ; elle descend à 112°,2 pour le soufre maintenu cinq minutes à 170 degrés, température où il est très-visqueux et où, suivant les expériences de M. Berthelot, se produit le maximum de soufre insoluble ; à partir de cette valeur, elle s'élève rapidement à 114°,4, température de solidification du soufre qui a été porté aux diverses températures comprises entre 200 et 447 degrés. Cette dernière valeur est sensiblement la même que celle qui correspond à la solidification du soufre insoluble.

Il doit sembler singulier, à première vue, que le point de solidification du soufre octaédrique chauffé à 170 degrés soit inférieur de plus de 5 degrés au point de solidification du soufre fondu à 121 degrés et de plus de 2 degrés à celui du soufre insoluble, bien que le soufre chauffé à 170 degrés ne soit qu'un mélange contenant une fraction de son poids de soufre insoluble. On peut se rendre compte de cette particularité si l'on assimile un mélange de soufre soluble et de soufre insoluble aux alliages qui sont plus fusibles que chacun des métaux qui entrent dans leur constitution.

Quant au soufre prismatique, la température de sa solidification dépend de son état antérieur. S'il provient du soufre insoluble, il se comporte comme lui ; cependant, lorsqu'on le soumet à plusieurs fusions et solidifications successives, en ne dépassant pas beaucoup la température de fusion, le point de solidification peut s'élever de plus d'un degré. De même, s'il provient de soufre octaédrique, son point de solidification dépend de la température à laquelle on l'a porté. Ainsi, lorsqu'il provient de soufre chauffé à 170 degrés, dont le point de solidification est 112°,2 et qu'il a été liquéfié entre 120 et 123 degrés, la température de solidification s'elève graduellement à chaque fois, et, après un nombre de fusions et de cristallisations suffisant, elle redevient égale à 117°,4.

Il résulte évidemment de là que le soufre prismatique, qui n'est généralement obtenu que par voie de fusion et cristallisation spontanée, ne peut pas être considéré comme une substance ayant toujours des propriétés identiques, bien qu'elle soit cristallisée, les cristaux ayant un point de solidification qui dépend de la température à laquelle ils ont été portés antérieurement. Il faut sans doute attribuer les différences observées à l'existence d'une certaine

Digitized by Google

quantité de soufre insoluble mélangée au soufre soluble en proportions qui dépendent de la température à laquelle on a chauffé le corps soumis à l'expérience, et qui diminuent à mesure qu'on l'expose à un plus grand nombre de fusions et solidifications successives aux plus basses températures possibles.

Le soufre mou, le soufre en fleur et le soufre en canons conduisent, comme on pouvait s'y attendre, à des résultats intermédiaires entre ceux que j'ai signalés pour le soufre insoluble et le soufre octaédrique qui entrent tous deux dans leur constitution.

Ces particularités rendent compte de la diversité des nombres donnés pour la température du changement d'état du soufre par des observateurs dont il n'y a pas lieu de mettre en doute l'habileté : je vais rappeler quelques-uns de ces nombres pour montrer les écarts qu'ils présentent, bien qu'il s'agisse d'un des corps qu'il est extrêmement facile d'obtenir à l'état de pureté. Berzelius indique 104°,5, M. Dumas 107, Thenard 108, Dalton 108-109, Wöhler 111, Marchand et Scheerer 111,75-112, Frankenheim 112°,2. M. Brame 110-113, M. Pisati 113-113°,5, M. Regnault 113°,6, M. Brodie 114°,5 (octaédrique), Person 115°, M. Brodie 120° (prismatique), M. Silvestri 124°-125°.

Ces résultats font voir aussi combien sont tenaces les modifications qui résultent de la trempe du soufre, puisqu'il faut, pour les faire disparaître, un nombre considérable de fusions et de cristallisations successives.

Nouvelle application des effets de la dilatation d'un liquide.
Lettre de M. W. Grosseteste.

Je lis dans le compte rendu de la séance du 17 courant une intéressante communication de M. Tommasi, relative aux effets que produit, dans un tube fermé, la dilatation de l'huile, et pour lesquels il propose d'utiliser la chaleur provenant des vapeurs perdues.

J'ai pensé que peut-être il ne serait pas sans intérêt de vous communiquer le dessin d'un appareil dont la construction repose sur le même principe. Cet appareil, inventé par M. de Peyer, in-

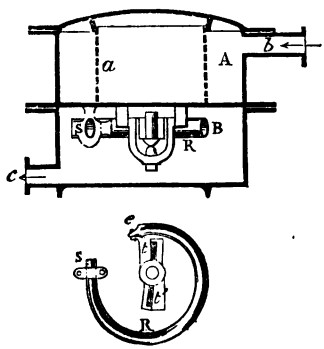
Digitized by Google

génieur à Thun (Suisse), a reçu déjà de nombreuses applications.

Dans un tube métallique fermé, et contourné suivant une circonférence, M. de Peyer enferme de l'huile minérale: exposé à des variations de température, ce tube tend à se redresser, et les extrémités se rapprochent ou s'éloignent.

C'est ce mouvement qui a été utilisé pour agir sur un obturateur quelconque, robinet, tiroir ou valve. Appliqué à une conduite de vapeur ou d'eau chaude, par exemple, on comprend que ce système puisse servir à régler l'écoulement du fluide à une température constante.

Dans le croquis ci-joint, l'appareil est supposé appliqué à une



conduite de vapeur, ou plutôt à un récipient de vapeur, dont on désire régler l'écoulement d'eau condensée à l'exclusion de la vapeur elle-même. Le mélange d'eau condensée et de vapeur pénètre par *b* dans un vase A et de là dans une capacité *a* fermée par un cylindre de tôle percé de trous.

Dans une capacité B, placée au-dessous de la première, est placé le tube R fixé en S, et dont l'extrémité libre *e* est reliée à un tiroir *tt'*, qui ouvre ou ferme des ouvertures pratiquées dans la cloison qui sépare les deux capacités A et B. Tant qu'il s'écoule seulement de l'eau chaude, le tiroir reste ouvert; mais, dès que la vapeur se présente, la température augmentant, le tiroir se ferme.

Cette disposition a été modifiée par l'inventeur pour être appliquée aux circonstances diverses qui réclament l'utilisation du système.

Digitized by Google

SÉANCE DU 16 JUIN 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le Président de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg est élu membre de la Société.

M. Egoroff présente à la Société un appareil à l'aide duquel il se propose d'étudier l'absorption de certains milieux des rayons lumineux de diverses réfrangibilités.

M. Mouton fait fonctionner devant la Société l'appareil qui lui a servi à étudier les phénomènes qui se produisent dans le fil induit lorsqu'on interrompt le courant inducteur.

M. Jamin fait connaître les résultats de ses expériences sur les effets de la trempe et du recuit sur le magnétisme que l'on peut communiquer à l'acier quand on l'aimante au maximum.

Électro-actinomètre différentiel; par M. Égoroff.

L'appareil que je vais décrire est construit pour déterminer les coefficients d'absorption des rayons ultra-violets par les différents corps [1].

Il se compose de deux actinomètres de Becquerel A, A′ (*fig.* 1). Chacun de ces actinomètres consiste en une boîte parallélépipédique de verre, ayant deux faces opposées de quartz. Ces boîtes sont recouvertes de plaques de caoutchouc durci et portant chacune deux fentes, dans lesquelles se fixent les plaques d'argent iodurées.

Les deux actinomètres, remplis aux trois quarts d'une solution d'acide sulfurique monohydraté dans l'eau (2 grammes d'acide sul-

---

[1] Des recherches analogues ont été faites par :

1° E. Becquerel, *La lumière, ses causes et ses effets ;*

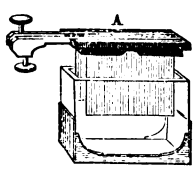
2° Allen-Miller, *On the photographic transparency of various bodies and on the photographic effects of metallic and other spectra obtained by means of the electric spark.* (*Phil. Trans.* London, t. CLII, p. 811-887.)

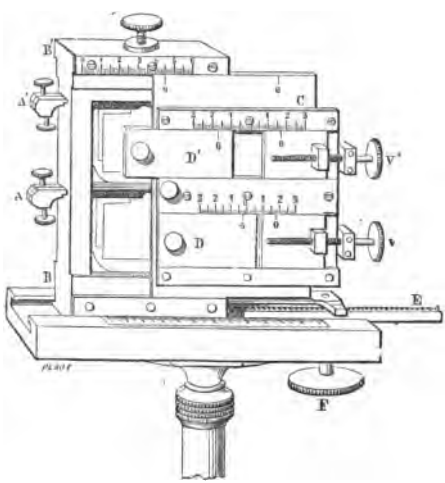
Digitized by Google

furique pour 100 grammes d'eau), sont placés, l'un au-dessus de l'autre, dans une boîte commune en bois BB′; les deux surfaces CC de cette boîte, correspondant aux plaques de quartz des actinomètres, sont mobiles dans des coulisses adaptées à la boîte BB′. L'une des plaques mobiles est munie de deux fentes superposées correspondant aux deux actinomètres, fentes qu'on peut agrandir à l'aide des vis micrométriques V, V′.

Dans mes recherches, j'ai combiné ces actinomètres, l'un opposé à l'autre, et j'ai observé, à l'aide d'un galvanomètre à réflexion très-sensible, le courant différentiel qui s'était produit sous l'influence de la lumière sur les plaques.

Pour faire les expériences dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec la même sensibilité des plaques, j'ai disposé mon appareil de manière que les fentes fussent mobiles sur toute la longueur des plaques, en sorte que l'effet de la lumière pût porter alternativement sur les différentes parties de ces plaques. En outre, faisant tourner l'appareil sous un angle de 180 degrés, je puis exposer les





plaques de l'autre côté. Cette boîte, commune aux actinomètres, dans les différentes parties du spectre, peut se déplacer au moyen d'une crémaillère E, à l'aide d'un bouton F.

La méthode d'observation avec cet électro-actinomètre différen-

Digitized by Google

tiel est très-simple. J'ai pris une ouverture égale pour les deux fentes, en réglant quatre plaques des actinomètres à la même sensibilité.

Je place ensuite le corps absorbant que je veux étudier entre la lumière et la fente correspondant à l'un des actinomètres (par exemple celui du bas). Je note les déviations du galvanomètre : 1° quand un seul des actinomètres est ouvert; 2° quand les deux agissent à la fois. Avant d'appliquer cette méthode à la détermination des coefficients d'absorption, j'ai fait quelques études préliminaires pour étudier la marche du phénomène et la régularité des indications de l'appareil.

Voici quelques résultats :

1° On peut préparer sans difficulté quatre plaques de la même sensibilité de telle façon que le courant différentiel soit nul ; tandis que chaque actinomètre donne un courant équivalent de 100 à 300 divisions de la règle [1].

2° L'intensité du courant est proportionnelle aux largeurs des fentes sous l'influence de la lumière, par exemple :

Largeur des fentes.	Déviation observée.	Déviation calculée.
1mm	25	25
2	50	50
4	100	100
6	150	150
2	43	43
4	88	86
10	208	215
5	45	45
10	90	90

3° L'intensité du courant est inversement proportionnelle au

(1) Si, après avoir iodé quatre plaques d'argent à la fois, on trouve quelque différence dans la sensibilité, on peut toujours rendre cette sensibilité égale par l'action temporaire de la lumière diffuse sur l'une ou sur l'autre des plaques, jusqu'à ce que le courant différentiel soit nul.

Digitized by Google

carré de la distance de la source lumineuse à l'appareil ; j'ai fait les expériences avec une lampe à l'huile, en les répétant dix fois pendant vingt minutes.

J'ai obtenu toujours les mêmes déviations :

Distance.	Déviation.
40^{cm}	15
20^{cm}	60

4° Avec des lentilles de quartz et un prisme de spath d'Islande, le spectre avait 35 millimètres de hauteur et 60 millimètres de longueur. La fente avait 2 millimètres d'ouverture. J'ai observé des déviations très-concordantes dans différentes parties du spectre solaire, à $4^h 25^m$ du soir, le 12 juin. Par exemple, entre *g* et H, la déviation était de 270 déviations de la règle; pour la raie R, elle était de 28 et entre T et V elle était de 4 divisions.

Ces expériences me paraissent démontrer qu'il y a proportionnalité exacte entre l'intensité de la lumière et celle du courant. La grande sensibilité et la précision de mon appareil montrent qu'il peut être considéré comme un photomètre très-délicat. Je me réserve de l'appliquer à l'étude d'un certain nombre de questions.

Ces premières expériences ont été faites au laboratoire de Physique du Collége de France, et mon appareil a été construit dans les ateliers de M. Duboscq.

SÉANCE DU 7 JUILLET 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Ducretet réalise devant la Société, avec le radiomètre de M. Crookes, l'expérience suivante : On expose l'instrument à l'action de la flamme d'une bougie et, quand le moulinet est en pleine activité, on refroidit sa surface, en utilisant le froid produit par l'évaporation de l'éther. Le moulinet s'arrête et, si l'on continue

Digitized by Google

l'action réfrigérante, il tourne en sens inverse, puis s'arrête et revient dans le sens du mouvement primitif, mais avec une vitesse plus grande.

M. Gernez présente à la Société des tubes contenant les deux variétés prismatique et octaédrique du soufre produites à la même température et indique le procédé employé pour les obtenir.

M. Lippmann expose ses recherches sur l'électrisation de l'eau par l'intermédiaire d'un fil de platine fin dont l'extrémité est seule en contact avec le liquide.

Après quelques observations de M. Mascart et de M. Ed. Becquerel, la séance est levée.

Des circonstances dans lesquelles se produisent les deux variétés de soufre; par M. D. Gernez.

On sait que le soufre peut affecter deux formes cristallines incompatibles, l'octaèdre droit à base rectangulaire, que l'on prépare généralement par évaporation spontanée des solutions dans le sulfure de carbone, et le prisme oblique symétrique que l'on obtient par voie de fusion. Ces deux espèces de cristaux peuvent se transformer l'une dans l'autre à des températures convenables : ainsi chaque prisme maintenu à la température ordinaire se divise avec dégagement de chaleur, sans changer de forme extérieure, en une multitude de petits cristaux octaédriques, et de même les octaèdres suffisamment chauffés éprouvent une dévitrification analogue et se transforment en prismes. Je me suis attaché à préciser les circonstances dans lesquelles se produisent ces deux variétés de soufre, sans intervention d'aucun dissolvant, et voici quels sont les résultats de cette étude.

Supposons d'abord que l'on opère avec du soufre provenant de solutions dans le sulfure de carbone : si, après l'avoir fondu, on l'abandonne au refroidissement dans un bain-marie, en le préservant du contact de poussières de soufre, il sera facile de le main-

Digitized by Google

tenir à l'état de surfusion à une température bien plus basse que celle où on le solidifierait par le contact d'un germe cristallin. Dans ces circonstances, le soufre peut devenir solide sous deux influences : par un refroidissement rapide de l'un des points de la masse liquide ou par un procédé dont j'ai depuis longtemps signalé la généralité, le frottement de deux corps solides au sein du liquide. On réalise facilement le premier cas en touchant avec un corps froid un point de la surface extérieure du vase qui contient le liquide; la solidification commence en face du point refroidi et se propage dans toute la masse liquide avec une vitesse d'autant plus grande que la température est plus éloignée du point de fusion.

Pour solidifier le soufre par action mécanique, on introduit au préalable dans le liquide un long fil de verre, et, quand il est à une température convenable, on appuie sur le fil de manière que son extrémité frotte contre le fond du tube; on voit aussitôt naître aux points frottés des cristaux qui envahissent rapidement tout le liquide. J'ai reconnu que les cristaux qui se produisent dans ces deux cas sont toujours des prismes aux températures supérieures à 60 degrés et jusqu'à la température de fusion du soufre prismatique. Pour opérer aux températures inférieures à 60 degrés, où le moindre mouvement communiqué au tube pourrait provoquer la solidification, ce qui ne permet pas d'être maître de l'expérience, il suffit de produire des gouttes de soufre surfondu par le procédé signalé depuis longtemps par M. L. Dufour, que j'ai modifié de la manière suivante. Dans un tube étroit on introduit d'abord une solution très-concentrée et chaude de chlorure de zinc plus dense que le soufre, on lui superpose une dissolution moins concentrée, plus légère que le soufre, on y laisse tomber un petit fragment de soufre et l'on chauffe. Le soufre donne un globule liquide qui flotte à la surface de séparation des deux solutions. Par un refroidissement lent du tube, on peut amener les globules à la température ordinaire et même à zéro degré. Si l'on provoque la solidification de ces globules par un refroidissement brusque ou par le frottement entre deux corps solides, il ne se produit jamais que des prismes, reconnaissables parce qu'au bout de quelque temps ils se dévitrifient, deviennent plus pâles et enfin, comme nous le verrons plus loin, à ce qu'ils produisent dans du soufre surfondu des cristaux prismatiques. Ainsi, quelle que soit la température

Digitized by Google

entre zéro et 117°,4, point de fusion du soufre prismatique (qui n'a pas subi antérieurement une température supérieure à 130 degrés), la forme du soufre produit spontanément ou par action mécanique est la forme prismatique, bien que cette forme ne soit pas stable aux températures où elle se produit; car, quelle que soit leur origine, ces cristaux prismatiques, abandonnés à la température ordinaire, perdent peu à peu leur transparence, ce qui les fait paraître d'un jaune plus pâle. Il en est de même des cristaux qui se produisent lorsqu'on sème dans le soufre surfondu un cristal prismatique, lequel ne donne jamais que des prismes.

Mais il est une influence capable de produire des octaèdres aux températures où naissent spontanément des prismes : c'est celle d'un germe cristallin octaédrique. Vient-on, en effet, à amener dans le soufre surfondu un cristal octaédrique assez petit pour ne pas le refroidir brusquement, il s'y développe graduellement jusqu'à solidification complète de tout le liquide. L'accroissement de ces cristaux est beaucoup plus lent que celui des prismes : cela doit tenir principalement à ce que la chaleur dégagée pendant la solidification des octaèdres est plus grande que celle qui se produit dans la formation des prismes. On voit, d'après cela, qu'il est possible de faire naître à une même température, dans du soufre surfondu, les deux variétés cristallisées du soufre, comme je l'ai fait voir antérieurement pour le cas des solutions dans la benzine, le sulfure de carbone, etc. La seule condition à remplir est d'opérer à une température inférieure à 113 degrés, qui est sensiblement le point de fusion du soufre octaédrique. On réalise commodément l'expérience de la manière suivante : on prend un tube de verre de 1 centimètre de diamètre, on le courbe à la lampe en forme d'U, de façon que les deux branches soient aussi rapprochées que possible; on met du soufre dans une des branches, on le fond à 125 ou 130 degrés dans un bain de chlorure de calcium : il passe alors en partie dans l'autre branche. On préserve le liquide contre les poussières extérieures par des capuchons de papier placés sur les orifices du tube, puis on introduit le tube dans un bain-marie, par exemple dans un ballon contenant de l'eau maintenue en ébullition : le soufre resterait indéfiniment liquide dans ces conditions; mais, si l'on enlève le papier qui couvre l'un des orifices du tube et si on y laisse tomber une petite par-

Digitized by Google

celle de soufre octaédrique, on voit aussitôt naître à la surface du liquide un cristal octaédrique, qui est retenu par capillarité sur cette surface et se développe de haut en bas, envahissant graduellement les couches inférieures du liquide. Cette solidification sans changement de la température ambiante, étant accompagnée d'une diminution de volume, et la surface libre primitive étant solidifiée, il se fait au-dessous un vide qui fait baisser dans l'autre branche du tube le niveau du liquide d'une quantité qui est à peu près $\frac{1}{7}$ de la hauteur primitive lorsque les octaèdres sont descendus jusqu'à la partie coudée. A ce moment, si l'on veut avoir des prismes dans l'autre branche, il suffit de découvrir son orifice et de toucher le liquide avec un fil de verre portant un cristal prismatique. En quelques secondes, les prismes viennent rencontrer les octaèdres dans la partie coudée, et comme, à la température de l'expérience, les deux espèces de cristaux sont translucides, il est impossible de les distinguer les uns des autres. Mais vient-on à laisser refroidir le tube pendant quelques minutes, au point où ils rencontrent les octaèdres, les prismes deviennent opaques et prennent une teinte blanchâtre qui s'étend peu à peu dans toute la région prismatique, laquelle contraste aussi, par son opacité, avec les octaèdres, qui ont conservé leur transparence et leur couleur. On peut, du reste, produire facilement les mêmes effets dans un tube droit; il suffit de semer les octaèdres à la surface et, lorsque la moitié supérieure du liquide est solidifiée, de toucher avec un corps froid l'extrémité inférieure du tube, par exemple d'amener rapidement avec une pipette quelques gouttes d'une solution froide et concentrée de chlorure de calcium : on produit ainsi des prismes dans la moitié inférieure du liquide; ou bien, après avoir semé un octaèdre à la surface, on le détache par un mouvement convenable communiqué au tube; il tombe alors au fond du liquide, y grossit lentement de bas en haut, et, lorsque la moitié inférieure du liquide est transformée en octaèdres, on sème des prismes à la partie supérieure, et ils envahissent le reste du liquide.

Les octaèdres que l'on fait croître dans le soufre surfondu présentent une limpidité d'autant plus grande qu'ils se sont formés plus lentement, c'est-à-dire à une température plus élevée. Vers 111 et 112 degrés, ils mettent plus d'une heure pour atteindre 1 centi-

Digitized by Google

mètre d'épaisseur; ils ne se produisent plus lorsque la température ambiante atteint 113 degrés. A cette température, le soufre octaédrique entre en fusion s'il est en parcelles très-petites, c'est-à-dire susceptibles d'être amenées rapidement en totalité à la température de fusion. Au contraire, s'il est en fragments de quelques millimètres d'épaisseur, pour peu que la température ambiante s'élève au-dessus du point de fusion, chaque fragment, après avoir éprouvé la fusion à sa surface, se dévitrifie à l'intérieur en donnant des prismes microscopiques au contact desquels se solidifie la partie fondue, qui se remplit alors de petits prismes nettement visibles : cet effet se produit tant que la température ambiante ne dépasse pas 117°,4, qui est, comme je m'en suis assuré, le point de fusion du soufre prismatique, lequel se confond avec le point de solidification du soufre d'abord octaédrique fondu au-dessous de 130 degrés.

J'ai supposé que, pour réaliser les expériences précédentes, on se servait de soufre octaédrique : on arrive aux mêmes résultats en faisant usage de soufre en canon ordinaire; dans ce cas, si l'on veut facilement obtenir le soufre surfondu à des températures très-inférieures au point de fusion, il convient de fondre le soufre à une température plus élevée et d'opérer dans des tubes très-propres, afin d'éviter la coloration permanente qui résulte de l'action des matières organiques sur le soufre fortement chauffé.

Sur une propriété d'une surface d'eau électrisée et sur la polarisation des électrodes; par M. G. Lippmann.

Lorsqu'on veut montrer la décomposition de l'eau par l'électricité, on emploie d'ordinaire un voltamètre muni de deux électrodes dont l'une sert à l'entrée, l'autre à la sortie du courant de pile. Cette disposition est commode pour produire une abondante décomposition de l'eau; mais elle constitue une expérience relativement complexe, et dont la complexité a pu masquer certaines conséquences de la loi élémentaire de l'électrolyse. Ce sont ces conséquences que nous allons essayer de démontrer.

Digitized by Google

On peut effectuer la décomposition de l'eau en n'employant qu'une seule électrode, ainsi que l'ont montré, sous diverses formes, MM. Buff, Grove, Andrews et Soret. L'expérience peut se faire de la manière suivante. Une masse d'eau isolée est contenue dans un vase en verre, de manière à constituer l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde. Cette masse d'eau est munie d'une électrode à la Wollaston, c'est-à-dire d'un fil de platine fin englobé dans du verre et ne touchant l'eau que par sa section extrême. Cela posé, on met le fil de platine en communication avec le conducteur d'une machine électrique. On voit alors un chapelet de fines bulles de gaz (oxygène) se dégager à la pointe qui sert d'entrée au flux d'électricité positive. Lorsque l'appareil est chargé, un seul des éléments de l'eau, l'oxygène, a été mis en liberté. Qu'est donc devenu l'hydrogène correspondant?

Tant que la masse d'eau reste chargée, cet hydrogène reste en excès. Si l'on décharge la masse d'eau, cet hydrogène se dégage à la pointe de platine, parce que celle-ci sert à ce moment d'électrode de sortie; remarquons que, d'après la loi de Faraday, la même charge électrique, qui dégage à l'entrée 1 équivalent d'oxygène, dégage à la sortie précisément 1 équivalent d'hydrogène. Ainsi l'eau, en revenant à l'état neutre, reprend sa composition normale; mais, pendant qu'elle est électrisée, elle contient un excès d'hydrogène proportionnel à la charge électrique qu'elle a reçue.

Il est clair que, si l'oxygène seul se dégage, l'hydrogène reste en excès; mais, demandera-t-on, ne se peut-il pas que l'hydrogène soit mis en liberté au sein du liquide ou bien à sa surface, au fur et à mesure que l'oxygène qui lui correspond se dégage à la pointe de platine? D'après cette manière de voir, tout se passerait comme s'il y avait dans le liquide deux électrodes, l'une constituée par la pointe de platine, et l'autre en quelque sorte diffuse ou de grande surface.

L'objection qui vient d'être rapportée ne peut guère être réfutée par une expérience directe, car les quantités de gaz mises en jeu sont assez faibles pour échapper facilement à l'observation si elles étaient disséminées. Mais on peut montrer nettement l'impossibilité de l'hypothèse qui vient d'être exposée, en considérant les quantités de travail chimique et électrique mises en jeu pendant l'expérience. On peut faire cette démonstration de plusieurs manières.

Digitized by Google

Première démonstration. — Pendant que l'eau acquiert sa charge, une quantité d'électricité Q passe du platine, où le potentiel électrique est V_0, à l'eau où le potentiel est V_1. Le travail électrique correspondant est donc égal à $(V_0 - V_1)Q$ ou bien à $(Pt_o) \times Q$, en désignant par (Pt_o) la différence de potentiel qui existe entre une électrode du platine, où se dégage de l'oxygène, et l'eau. Pendant la décharge, la même quantité d'électricité Q repasse de l'eau où le potentiel est V'_1 au platine où le potentiel est V'_0. Le travail électrique correspondant est donc égal à $(V'_1 - V'_0)Q$ ou bien à $-(Pt_H) \times Q$, en désignant par (Pt_H) la différence de potentiel qui existe entre une électrode de platine où se dégagent l'hydrogène et l'eau. La somme des travaux électriques correspondant à la charge et à la décharge est donc égale à

$$[(Pt_o) - (Pt_H)]Q.$$

Or, dans un voltamètre à deux électrodes traversé par un courant de pile, la différence de potentiel des deux fils de platine est précisément $(Pt_o) - Pt_H$, et le travail électrique correspondant au passage de la quantité d'électricité Q a donc également pour expression le produit écrit ci-dessus. Dans un voltamètre à deux électrodes, ce travail électrique correspond à la décomposition de Q équivalents d'eau. Or, si, dans l'appareil à une seule électrode, il se dégageait pendant la charge, d'une part, Q équivalents d'oxygène au platine et Q équivalents d'hydrogène dans le sein de l'eau, et ensuite Q équivalents d'hydrogène au platine et Q équivalents d'oxygène dans l'eau, il y aurait en tout 2Q équivalents d'eau décomposée. On ne peut admettre que le travail électrique qui correspond à la décomposition de Q équivalents d'eau puisse, dans l'appareil à une électrode, en décomposer une quantité double. Donc, dans l'appareil à une seule électrode, le phénomène de la charge ou bien celui de la décharge, pris séparément, correspond à la mise en liberté d'un seul des éléments de l'eau. Chacun d'eux produit une *demi-décomposition* de l'eau; il faut la somme des deux phénomènes pour mettre en liberté l'un et l'autre des éléments de l'eau.

Deuxième démonstration. — Nous nous proposons de montrer qu'il ne peut y avoir mise en liberté d'un élément de l'eau qu'à la

Digitized by Google

surface de contact de l'eau et d'une électrode d'autre matière. Il suffit évidemment pour cela de montrer que, dans une masse d'eau homogène, aucune décomposition chimique n'accompagne les déplacements d'une charge électrique.

A cet effet, considérons une sphère d'eau isolée S et une sphère de cuivre électrisée C. Les deux sphères s'attirent avec une force dirigée suivant la ligne des centres. On peut faire tourner la sphère C autour de la sphère S en maintenant la distance des deux sphères constante; ce mouvement n'exige aucune dépense de travail, puisque le mouvement se fait dans une direction perpendiculaire à la force.

Dans ce mouvement, la distribution d'électricité développée par influence sur la sphère S se déplace en suivant la sphère C. Le mouvement d'électricité qui en résulte dans la sphère S ne peut y mettre en liberté les éléments de l'eau; car autrement on décomposerait l'eau à l'aide du mouvement de la sphère C, lequel mouvement n'exige aucune dépense de travail.

Ainsi la considération du travail chimique montre que la quantité d'énergie électrique dépensée au passage d'*une* seule électrode est insuffisante pour mettre en liberté les *deux* éléments de l'eau, et qu'ainsi la théorie confirme l'observation. Lorsqu'on électrise positivement une masse d'eau isolée, on en dégage de l'oxygène; l'hydrogène correspondant reste fixé jusqu'au moment de la décharge. Cet hydrogène *dissimulé* est en quantité proportionnelle à la charge électrique acquise. Il en résulte que cet hydrogène en excès se trouve réparti à la surface électrisée de la même façon que la charge électrique. En effet, si l'on évide un conducteur quelconque, et en particulier une masse d'eau électrisée, en enlevant des masses d'eau quelconques dans son intérieur, mais sans modifier la surface, on ne change pas la charge que ce conducteur reçoit dans des circonstances données, et qu'il cède ensuite au moment de la décharge; en d'autres termes, un conducteur creux se comporte exactement comme un conducteur plein de même forme. On ne change donc pas la quantité d'hydrogène dissimulé, en enlevant une portion intérieure quelconque de la masse d'eau; donc cet hydrogène se trouve réparti à la surface de l'eau. Dans le cas où la masse d'eau forme l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde, cet hydrogène se trouve, comme la charge électrique, presque en totalité à la surface de contact du verre et de l'eau.

Digitized by Google

Une quantité d'électricité Q, en pénétrant dans la masse d'eau, dégage à l'électrode d'entrée Q équivalents d'oxygène; il reste donc Q équivalents d'hydrogène en excès ou dissimulés, et, en effet, Q unités d'électricité dégagent en sortant de la masse d'eau précisément Q équivalents d'hydrogène. On doit tirer de là deux conséquences :

1° Les actions chimiques ou physiques (oxydation, diffusion) sont sans effet aucun sur l'hydrogène dissimulé, tant que ces actions ne diminuent pas la quantité Q, c'est-à-dire tant que, en appliquant ces actions, on ne détruit pas l'isolement électrique de la masse d'eau;

2° Inversement, toute action qui diminue la charge électrique Q doit diminuer dans le même rapport la quantité d'hydrogène dissimulé.

L'étincelle et l'effluve électriques sont du nombre de ces dernières actions. Et, en effet, cette conclusion a été vérifiée par l'expérience : par Faraday pour le cas des effluves ou de la décharge par aigrettes; par M. Buff pour le cas de l'étincelle; M. Buff a même vérifié que la quantité d'hydrogène (ou d'oxygène) mise en liberté par les étincelles est proportionnelle à la quantité d'électricité positive (ou négative) soutirée par ces étincelles, conformément à ce qui a été établi dans ce travail.

On sait que Faraday a été guidé dans toutes ses recherches par une idée constante; rejetant l'hypothèse d'actions électriques à distance comme une abstraction stérile, il a cherché à ramener à des lois communes les phénomènes qui ont lieu à distance sensible et les phénomènes qui ont lieu de proche en proche au contact apparent. Les résultats que nous avons établis permettent peut-être de compléter sur un point le rapprochement cherché par Faraday.

On a remarqué depuis longtemps que le système formé par une masse d'eau et une lame de platine plongeant dans cette eau possède les propriétés électriques d'un condensateur à lame extrêmement mince, dont l'armature intérieure serait formée par l'eau et l'armature extérieure par le platine, condensateur où la capacité serait très-grande, et où les limites entre lesquelles peut varier la différence de potentiel entre les armatures seraient très-rapprochées: ces deux propriétés sont des conséquences nécessaires de la minceur de la lame isolante.

Digitized by Google

D'autre part, on a observé que, lorsque le potentiel de l'eau devient plus élevé que celui du platine, il y a accumulation d'hydrogène à la surface de séparation des deux corps. Cette accumulation d'hydrogène a été regardée jusqu'ici comme particulière aux systèmes formés par un liquide et une électrode polarisables. Or nous avons vu qu'un condensateur ordinaire, c'est-à-dire formé de deux conducteurs séparés par une distance sensible, jouit également de cette propriété de retenir de l'hydrogène dissimulé en quantité proportionnelle à la charge positive, ou de l'oxygène dissimulé en quantité proportionnelle à la charge négative. Sur ce point donc l'analogie est complétée.

De plus, on a montré plus haut que, lorsqu'il y a décharge entre la masse d'eau et le corps éloigné qui fait fonction d'armature extérieure, il y a dégagement d'hydrogène ou d'oxygène, suivant que le passage du fluide positif a lieu de l'eau vers l'intérieur ou en sens contraire.

Le même fait se produisant pour le système formé par l'eau et le platine en contact apparent a pour conséquence le dégagement gazeux qu'on observe en effet aux électrodes. Nous ne pouvons achever de développer ici l'analogie que nous avons signalée et qui s'étend aux forces mécaniques développées dans les deux systèmes.

SÉANCE DU 21 JUILLET 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus Membres de la Société : MM. Hureau de Villeneuve, Varin, professeur de physique au Collége d'Épinal; Hipp. Josse, ancien élève de l'Ecole Polytechnique; Dalman, ingénieur à Barcelone (Espagne).

M. Sidot répète devant la Société quelques-unes de ses expériences. Il fait voir que le charbon de bois obtenu par l'action du sulfure de carbone sur le bois chauffé à une haute température jouit d'une sonorité comparable à celle des métaux ; il est aussi rendu

Digitized by Google

beaucoup plus conducteur. Le coton, le chanvre, le papier carbonisés dans les mêmes conditions peuvent être faiblement rendus incandescents dans un bec de gaz, mais, comme les métaux, ils s'éteignent lorsqu'on les retire de la flamme.

Il présente aussi à la Société le produit de l'action de la lumière sur le bisulfure de carbone. C'est le protosulfure de carbone, corps solide qui se dépose dans le sulfure de carbone insolé. Il contient moitié moins de soufre que le sulfure de carbone, et l'on retrouve le reste du soufre à l'état de soufre soluble en dissolution dans le liquide non encore décomposé.

La blende hexagonale préparée par déplacement à haute température dans un courant de gaz sulfureux présente une phosphorescence verte d'une intensité remarquable, que l'on peut observer très-facilement pendant le jour après action de la lumière diffuse, ou le soir après l'action d'une source lumineuse intense, comme la lumière du magnésium.

De la grenaille d'argent, baignée par du sulfure de carbone et contenue dans un matras scellé à la lampe, s'électrise par l'agitation du matras légèrement chauffé, en même temps qu'il se produit des jets de lumière à l'intérieur.

L'auteur présente aussi des échantillons d'oxyde de fer magnétique obtenus soit par combustion d'un tube de fer, soit par calcination du colcotar, et les fragments disposés au moment de leur formation parallèlement à l'aiguille d'inclinaison ont des pôles placés comme ceux de cette aiguille.

M. Marié-Davy présente à la Société les appareils dont il va se servir pour déterminer les constantes magnétiques d'un certain nombre de localités, en vue de compléter et de rectifier la carte magnétique de la France.

Magnétisme terrestre; par M. Marié-Davy.

J'ai l'honneur de présenter à la Société deux théodolites boussoles : l'un de Brünner, grand modèle; l'autre de Lorieux, très-petit modèle, muni d'une aiguille à pivot, et servant dans la Marine aux opérations hydrographiques. Ces deux appareils ont été

Digitized by Google

modifiés de manière à donner la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité magnétique.

Pour l'*inclinaison*, on ajoute à l'instrument un barreau de fer doux, mobile autour d'un point situé à 15 millimètres d'une de ses extrémités et situé sur la ligne horizontale qui part du centre de l'aiguille, perpendiculairement à la direction de cette dernière. Le barreau étant d'abord vertical et au-dessus de son axe de rotation, l'aiguille est déviée; on tourne l'appareil jusqu'à ce que cette aiguille revienne entre ses repères. On met ensuite le barreau dans la verticale au-dessous de son axe de rotation, ce qui produit une nouvelle déviation de l'aiguille, mais en sens contraires. La demi-somme des écarts donne un premier angle δ. On recommence l'opération, le barreau horizontal dirigé d'abord vers le nord, puis vers le sud, ce qui donne un second angle δ'. L'inclinaison i est donnée par la formule

$$\operatorname{tang} i = B \frac{\sin \delta}{\operatorname{tang} \delta}.$$

A cause de l'inertie magnétique du fer, il est bon de répéter les lectures en alternant les positions du barreau. B est une constante que l'on détermine à l'avance par comparaison avec une bonne boussole d'inclinaison.

Dans une excursion faite pour expérimenter ces appareils, la grande boussole de Brünner n'a pas donné de bons résultats, parce que le barreau de fer doux, trop faible et trop éloigné de l'aiguille, donnait des déviations trop faibles. Avec le petit théodolite Lorieux à pivot, qui donne à peine la minute, on a obtenu les résultats suivants :

	Inclinaison observée.	Inclinaison conclue de la carte.
Amiens.....	66°.21′	66°.19′
Saint-Valery.....	66.38	66.37
Boulogne.....	66.57	66.57
Dunkerque.....	67. 4	67. 5

Pour mesurer l'*intensité absolue*, on enlève le barreau de fer doux, et l'on place une seconde aiguille aimantée au-dessus de l'aiguille mobile, de manière que leurs centres soient sur la même

Digitized by Google

verticale et qu'elles soient en croix. L'aiguille supérieure ayant d'abord son pôle nord à l'est, on tourne l'appareil jusqu'à ce que l'aiguille déviée soit remise entre ses repères; puis on renverse bout pour bout l'aiguille supérieure jusqu'à ce que l'aiguille déviée en sens contraire revienne entre ses repères : la moitié de l'angle ainsi parcouru par l'appareil est la moyenne déviation, produite par l'aiguille fixe sur l'aiguille mobile. L'aiguille fixe est alors suspendue, soit à la place de l'aiguille fixe, soit dans une boîte spéciale pour mesurer la durée t d'une de ses oscillations. La composante horizontale F de la force magnétique terrestre est donnée par la formule

$$F = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{A}{\sin\delta}},$$

dans laquelle A est une constante que l'on détermine à l'Observatoire par comparaison avec une bonne boussole d'intensité.

Voici les résultats obtenus, soit avec la boussole Brünner B, soit avec la boussole Lorieux, L :

	Valeur de F.	Observateur Descroix.	Instrument.
Perpignan.....	2,218	D	B
Carcassonne.....	2,175	D	B
Pau.....	2,167	D	B
Tarbes.....	2,159	D	B
Agen.....	2,121	D	B
Toulouse.....	2,111	D	B
Périgueux.....	2,093	D	B
Clermont	2,076	D	B
Lyon.....	2,059	D	B
Châteauroux.....	2,027	D	B
Orléans.....	1,964	D	B
Fontainebleau.....	1,937	MD	B
Paris, fortifications.	1,925	D-MD	B
Amiens.....	1,870	MD	B
Saint-Valery	1,156	MD	B-L
Boulogne.....	1,851	MD	L

La boussole Lorieux pèse quelques kilogrammes : sa boîte est assez petite pour qu'on puisse toujours la garder avec soi en che-

Digitized by Google

min de fer; elle peut donc rendre des services, soit sur le continent, soit dans les voyages d'exploration. Sa précision est suffisante; elle peut être accrue en remplaçant le pivot par un court fil de cocon.

SÉANCE DU 17 NOVEMBRE 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Lippmann résume les recherches qui ont été faites sur le mouvement des corps solides dans l'air raréfié sous l'influence de la lumière.

M. Jabloschkoff présente à la Société une nouvelle lampe électrique.

De quelques recherches récentes sur le radiomètre de Crookes; par M. Lippmann.

Les expériences de M. Crookes ont attiré de nouveau l'attention des physiciens sur l'ancienne question de la force motrice de la lumière, soulevée déjà par Euler; son radiomètre a provoqué un grand nombre d'expériences et de théories intéressantes (1). On se rappelle notamment les expériences de MM. Dewar et Tait, montrant que le mouvement est déterminé par l'inégalité de température des deux faces de chaque palette; et les expériences de Schuster montrent que la force qui meut les palettes prend son point d'appui sur l'enveloppe de verre de l'instrument. Enfin on sait par quelle théorie ingénieuse MM. Dumas et Tait, et M. Johnstone Stoney ont rattaché les propriétés du radiomètre à la théorie des gaz de Bernoulli. Ces travaux sont assez connus pour qu'il soit inutile de les exposer. Aujourd'hui nous nous proposons seulement de résumer l'état actuel de la question.

---

(1) *Voir* les *Annales de Chimie et de Physique*, et le *Journal de Physique*, t. IV, p. 58, et t. V p. 220 et 366.

Digitized by Google

I. La question capitale soulevée par le radiomètre était celle-ci : le mouvement est-il dû au choc direct de la lumière, ou bien à une force développée à l'intérieur de l'instrument? Dans le premier cas, les particules de l'éther et le moulinet sont les seuls agents du mouvement; dans le second cas, la force motrice prend son point d'appui sur le verre de l'enveloppe. On se rappelle que M. Schuster, pour résoudre cette question, a rendu mobile l'enveloppe de verre, et constaté que cette enveloppe était mue aussi bien que le moulinet, mais en sens inverse. M. Crookes vérifia ce résultat pour le cas où, la cage flottant sur l'eau, le moulin est arrêté par une attraction magnétique; mais, dans le cas où le moulinet reste libre, M. Crookes trouva que la cage tourne d'un mouvement très-lent dans le sens du moulinet.

M. A. Righi a repris ces expériences (1). Il a fait flotter le radiomètre sur l'eau, dans un vase à bords graissés, afin d'éviter que la capillarité n'attirât le radiomètre vers les bords du vase. L'enveloppe de verre du radiomètre portait un miroir servant à mesurer les petites déviations angulaires. M. Righi observa que, lorsque la vitesse du moulinet commence à s'accélérer sous l'action de la lumière, l'enveloppe de verre tourne en sens inverse du moulinet; lorsque la vitesse du moulinet est devenue constante, le mouvement de l'enveloppe de verre s'arrête; enfin, lorsque la vitesse du moulinet diminue, l'enveloppe est entraînée dans le sens où tourne le moulinet. Le moulinet et l'enveloppe sont donc soumis à chaque instant à des couples accélérateurs de sens contraires.

En suspendant l'enveloppe du radiomètre au fil de torsion de la balance de Coulomb, M. Righi a retrouvé les mêmes phénomènes, modifiés seulement par la torsion du fil : lorsque le moulinet subit une accélération positive, l'enveloppe exécute un mouvement en sens inverse, limité par la torsion du fil; lorsque l'accélération du moulinet est nulle ou sa vitesse constante, l'angle de torsion se réduit à zéro; lorsque la vitesse du moulinet diminue, l'angle de torsion change de signe en même temps que l'accélération du moulinet. Ces phénomènes, observés par M. Righi, dans le cas de la torsion, avaient déjà été signalés par M. Schuster, qui se servait d'une suspension bifilaire, au lieu d'un simple fil (2).

---

(1) *Scienza applicata*, vol. I, parte II, fasc. 8. Bologne.
(2) *Proceedings Roy. Soc.*, vol. XXIV, p. 391.

Digitized by Google

Voici un petit appareil imaginé par M. Salet pour mettre en évidence cette réaction de l'air sur les parois. Ici le moulinet est fixe; par contre, un disque léger en mica, placé au-dessous, est mobile au moyen d'une chape sur une pointe d'aiguille. Le disque d'abord immobile subit, dès qu'on éclaire l'instrument, la réaction de l'air, et il se met à tourner avec une vitesse croissante dans un sens opposé au sens où aurait tourné le moulinet.

M. Righi montre, par une expérience très-élégante, que les couples de forces qui agissent, d'une part, sur l'enveloppe, d'autre part, sur le moulinet, sont *égaux* et de sens contraires. Il suspend de nouveau l'instrument, mais la tête en bas; dans ce cas, aucune lumière, si intense qu'elle soit, ne produit de mouvement. Le moulinet dans cette position repose, non sur les pointes d'aiguille, mais sur le tube de garde; il devient par là solidaire de son enveloppe. Les forces qui suffisaient pour produire le mouvement relatif des deux parties ne tendent pas à déplacer le système qu'elles forment lorsqu'elles les ont rendues solidaires : ces forces obéissent donc à la loi d'égalité de l'action et de la réaction; en d'autres termes, elles sont tout entières intérieures à l'instrument. M. Righi admet, comme MM. Dewar et Tait, que ces forces sont dues à l'air qui reste dans l'instrument.

II. Il y a, en effet, de l'air dans l'instrument; l'expérience montre même que cet air produit des effets de frottement très-notables. M. A. Kundt (1) dispose sur le moulinet un disque horizontal très-léger en mica, qui tourne avec le moulinet. Un second disque en mica, mobile sur une pointe d'aiguille, est disposé à une petite distance au-dessus du premier, mais il en est d'ailleurs complétement indépendant. Cela posé, lorsque le disque inférieur se met à tourner, on voit le disque supérieur, d'abord immobile, entraîné peu à peu dans le mouvement du disque inférieur; le mouvement est transmis d'un disque à l'autre par le frottement de l'air qui les sépare.

M. Crookes (2) met la viscosité de l'air du radiomètre en évidence en suspendant le moulinet du radiomètre à un fil de cocon, au lieu de le faire porter par une pointe d'aiguille; ce fil est attaché à un

(1) *Ann. de Pogg.*, n° 7, 1876, p. 868 et 660. — *Voir* aussi Kundt et Warburg, *Ann. de Pogg.*, t. CLV, p. 337 et 525; t. CLVI, p. 177.

(2) *Proceedings of the Royal Society*, t. XXV, p. 136 (juin 1876).

Digitized by Google

bouchon de verre lubrifié par du caoutchouc fondu, et invariablement fixé à un support. Cela posé, lorsque, en l'absence de toute lumière, on fait tourner l'enveloppe autour du bouchon comme axe, celui-ci restant fixe, le moulinet est entraîné par le mouvement de l'enveloppe, grâce à la viscosité de l'air très-raréfié qu'elle contient. On sait que le coefficient de frottement d'un gaz est indépendant de sa densité. Cette propriété remarquable a été établie par des expériences de M. C. Maxwell, de M. Meyer, et, en dernier lieu, de MM. Kundt et Warburg; elle se justifie par la théorie de M. Maxwell, fondée sur l'hypothèse de Bernoulli. M. Crookes a vérifié cette propriété pour la raréfaction obtenue dans le radiomètre. D'après M. Crookes, la viscosité de l'air sec, mesurée par le décroissement logarithmique des oscillations d'un levier, reste à peu près constante pour toutes les pressions mesurables au manomètre; même lorsqu'on a dépassé le degré de vide qui empêche la production de l'étincelle d'induction, la diminution du frottement de l'air est peu sensible; bien au delà de ce degré de vide, la viscosité diminue plus rapidement. Mais alors, comme le fait remarquer M. Kundt, une des conditions de la théorie de M. Maxwell n'est plus remplie; la distance moyenne qu'une molécule peut parcourir, sans en rencontrer une autre, n'est plus négligeable par rapport aux dimensions du vase. Ainsi, dans un radiomètre, il reste encore assez de gaz pour que le frottement de ce gaz soit très-facile à mettre en évidence.

III. Si l'air contenu dans le radiomètre est la cause du mouvement, on doit s'attendre à voir la vitesse dépendre de la pression de l'air, et tendre à disparaître quand le vide devient presque parfait. C'est, en effet, ce qu'ont observé plusieurs expérimentateurs. M. Crookes [1] a constaté que la force motrice va d'abord en croissant, en même temps que la raréfaction de l'air, jusqu'à un maximum. Si l'on continue à raréfier l'air, la force diminue. M. Crookes ajoute : « La force de la radiation n'agit pas instantanément; il lui faut un temps appréciable pour atteindre sa valeur maximum, ce qui prouve, comme le pensait le professeur Stokes, que la force est un effet, non direct, mais indirect de la radiation. » L'auteur ajoute à la fin de son travail : « Les expériences que je viens de résumer

[1] *Proceedings Roy. Soc.*, 15 juin 1876; *Comptes rendus* du 11 septembre 1876.

Digitized by Google

brièvement me paraissent démontrer presque avec certitude que la répulsion produite par la radiation est due à l'action de la chaleur thermométrique échangée entre la surface du corps en mouvement et les parois du récipient de l'instrument par l'intermédiaire du gaz raréfié restant dans son intérieur. Cette explication est, du reste, conforme aux récentes recherches sur la dernière constitution de la matière et sur la théorie des gaz. »

M. Alvergniat (1) paraît avoir obtenu un vide encore plus parfait que ceux de M. Crookes. Il fait le vide dans un radiomètre dépourvu de toute substance poreuse (les palettes sont en aluminium et argent) et maintenu, pendant qu'on y fait le vide, à 400 degrés dans de la vapeur de soufre. L'instrument vidé dans ces conditions a perdu toute sa sensibilité pour la lumière; il reprend son mouvement, au contraire, lorsqu'on y laisse rentrer de l'air.

M. Finkener (2) a également constaté que la répulsion apparente produite par la lumière va en croissant jusqu'à un maximum, quand la raréfaction augmente, pour décroître ensuite quand le vide devient plus parfait; il évalue la pression au moyen du nombre de coups de piston de la pompe à mercure. Afin de pouvoir ensuite pousser le vide plus loin, l'auteur a recours à l'absorption chimique. A l'enveloppe du radiomètre sont soudées des annexes en verre contenant: 1° du permanganate de potasse pur destiné à fournir de l'oxygène par l'action de la chaleur; 2° du cuivre métallique destiné à absorber cet oxygène à chaud; 3° de la chaux vive pour absorber la vapeur d'eau. L'instrument ayant été lavé à l'oxygène, rempli d'oxygène pur et fermé à la lampe, M. Finkener porta la branche qui contient le cuivre métallique à 110 degrés, et il mesura la vitesse du moulinet de dix minutes en dix minutes. Il vit que cette vitesse, croissant d'abord avec le temps, diminue ensuite jusqu'à s'annuler. Il parvint ainsi à réduire la sensibilité de l'instrument au vingtième de sa valeur maximum.

M. Finkener développe par le calcul l'explication qu'il adopte pour ces phénomènes et qui ne diffère pas de celle adoptée par Dewar et Tait et les autres physiciens dont nous avons parlé. Ce

---

(1) *Comptes rendus* du 24 juillet 1876.
(2) *Ann. de Pogg.*, juillet 1876.

Digitized by Google

calcul lui fournit, pour la pression que doit avoir l'air dans un des radiomètres qu'il emploie lorsque la vitesse est maximum, la valeur de $0^{mm},007$ de mercure : l'expérience a sensiblement confirmé ce résultat.

M. Finkener a vérifié par l'expérience un autre résultat de la théorie : un radiomètre tourne d'autant plus vite que l'intervalle laissé entre les ailettes et la paroi de l'enveloppe est plus petit. C résultat est utile à noter pour la construction des radiomètres.

IV. M. Righi explique facilement, au moyen de la même théorie, l'expérience suivante qu'il décrit, et qui a été faite d'autre part par M. Jamin (1). On chauffe par contact un point de l'enveloppe de verre; on voit alors ce point se comporter comme un centre de répulsion : les deux palettes les plus voisines se mettent en équilibre à égale distance du point chauffé, et oscillent autour de cette position d'équilibre, lorsqu'on les en a écartées. D'après M. Righi, ce point est le sommet d'une gerbe divergente de molécules gazeuses qui ont pris, en le touchant, une vitesse plus grande correspondant à sa température plus élevée. Le choc de ces molécules repousse chaque palette, et cela d'autant plus que cette palette, en se rapprochant du sommet, intercepte une plus grande partie de la gerbe.

On a répété, sous plusieurs formes différentes, une expérience qui s'explique comme la précédente, et qui consiste à faire agir sur la palette du radiomètre, non une source de chaleur, mais une source de froid; il y a encore rotation, mais, dans ce cas, le sens de la rotation est renversé. Le radiomètre, après avoir été porté à une température plus élevée, est abandonné de nouveau à l'action refroidissante du milieu ambiant (Frankland) (2); ou bien le radiomètre, pris à la température ambiante, est plongé dans de l'eau froide (de Fonvielle); ou encore on verse de l'éther sur l'enveloppe de verre (Ducretet) (3). M. Crookes avait observé depuis longtemps qu'une aiguille de glace, substituée à une bougie, attire la palette que la bougie repoussait. Ainsi que le font observer M. Frankland et M. Righi, le phénomène s'explique en remarquant que les faces

(1) *Comptes rendus*, 24 juillet 1876, p. 273.
(2) *Nature*, 19 octobre 1876.
(3) *Comptes rendus*, 3 juillet 1876.

Digitized by Google

des palettes qui ont le plus grand pouvoir absorbant ont aussi le plus grand pouvoir émissif; ce sont donc celles qui se refroidissent le plus vite par rayonnement. Les rôles des deux faces d'une palette étant intervertis, le *sens de la rotation est renversé.*

V. Actuellement donc, tous les auteurs qui ont étudié le radiomètre expérimentalement, et en particulier M. Crookes, sont d'accord pour admettre une même théorie, et pour y faire rentrer les diverses expériences décrites plus haut.

On se rappelle le trait essentiel de cette théorie commune aujourd'hui à tous les expérimentateurs : la force motrice est due à la dilatation, à l'accroissement de pression, que l'air éprouve au contact de la face la plus chaude de chaque palette ; et cet accroissement de pression *ne se transmet pas* au reste de l'air raréfié contenu dans le radiomètre, ainsi que cela aurait lieu si cet air était à la pression atmosphérique. Si cet accroissement de pression se répartissait également dans tout l'intérieur de l'instrument, il ne tendrait pas à produire un mouvement. Ainsi la propriété caractéristique des corps fluides, l'égale transmission des pressions, ne s'étend pas à l'air très-raréfié du radiomètre. Ce paradoxe apparent se trouve être une conséquence directe de l'ancienne hypothèse de Daniel Bernoulli, hypothèse aujourd'hui remise en vigueur, comme on sait, et très-utile pour l'étude des gaz. Un gaz est un système discontinu de molécules indépendantes, parfaitement élastiques, et animées d'un rapide mouvement de translation ; leurs chocs contre les parois constituent la pression. Le choc des molécules entre elles, s'il a lieu, constitue le mécanisme par lequel se produit l'égale répartition de la pression ; si, au contraire, les molécules sont assez rares pour pouvoir traverser un espace donné sans s'y rencontrer, la transmission de la pression n'a pas lieu dans cet espace. C'est ainsi que, dans un radiomètre où l'air est suffisamment raréfié, les molécules échauffées (ou à grande vitesse) et les molécules froides se croisent sans se heurter, ces deux sortes de molécules constituent deux systèmes qui restent indépendants, et dont chacun exerce la pression correspondant à la vitesse qui lui est propre. L'emploi de l'hypothèse de Bernoulli est peut-être le point faible de la théorie ; mais, d'autre part, la conséquence singulière qui en résulte paraît propre à expliquer ou à suggérer d'autres expériences que celles du radiomètre.

Digitized by Google

Quant à l'action mécanique directe qu'exercerait la lumière, on peut dire que le radiomètre a mis en évidence la difficulté qu'il y aurait à montrer cette action par l'expérience. Ce problème, qui a servi de point de départ à M. Crookes, est encore à résoudre. L'action de la lumière existe peut-être néanmoins; il se peut qu'une force de ce genre, incapable d'agir sur le radiomètre, puisse, au contraire, comme l'a pensé M. Faye, déformer visiblement les comètes, corps dont la surface est immense par rapport à leur masse, et qui sont parfaitement libres dans l'espace.

Nouvelle lampe électrique; par M. Jabloschkoff.

J'ai l'honneur de présenter à la Société une nouvelle lampe ou bougie électrique d'une construction extrêmement simple.

Au lieu de placer les deux charbons l'un en face de l'autre et dans le prolongement de l'autre, suivant la méthode généralement adoptée, je les place l'un à côté de l'autre et je les sépare au moyen d'une matière isolante, brique pilée, kaolin, talc, etc.

Les deux extrémités supérieures des charbons sont libres; l'arc voltaïque s'établit entre elles.

A mesure que les charbons se consument, la matière isolante, qui est d'abord fondue au voisinage immédiat de l'arc voltaïque, se vaporise ou s'échappe en fumée.

Pour maintenir l'accord de longueur entre les deux charbons, je donne à l'un deux (le positif) une section plus grande qu'à l'autre.

Ces deux charbons et l'isolant constituent, à proprement parler, la bougie électrique qui se place dans un chandelier spécial. Ce chandelier se compose de deux pièces métalliques isolées l'une de l'autre et montées sur une base d'ardoise ou de quelque autre matière.

Digitized by Google

Ces deux pièces constituent une pince dans laquelle sont serrés les deux charbons, de manière à établir un bon contact. Les deux fils de la pile aboutissent à cette pince.

Pour allumer la bougie, il faut, si elle est à portée de la main, établir la continuité du circuit avec un morceau de charbon qu'on appuie sur le sommet de la bougie, et qu'on enlève ensuite.

Si la bougie doit être allumée à distance, on doit mettre à l'avance un petit morceau de métal entre les bouts de charbons; quand le courant commence à passer, ce métal fond, se volatilise, et l'arc voltaïque s'établit.

Deuxième partie.

On répète habituellement que le charbon positif se consume dans l'arc voltaïque deux fois plus rapidement que le négatif. Cette proportion n'est exacte qu'avec une pile de 50 à 60 couples de Bunsen.

Mais, si la force de la source électrique augmente ou diminue, la proportion change. Avec plus de 60 éléments, la consommation du charbon positif est relativement plus rapide; avec moins d'éléments, elle est relativement moins rapide.

Cette variation, d'ailleurs peu considérable, ne se produit que lorsque la tension de la source varie elle-même; en effet, mes expériences ont été faites en général avec deux machines Gramme, l'une de 100, l'autre de 200 becs Carcel; la vitesse étant la même, la tension était sensiblement la même, la quantité seule était différente d'une machine à l'autre. Dans ces conditions, j'ai employé des charbons de section 100 et 49, qui ont été convenables pour une vitesse réglée à 750 ou 850 tours à la minute.

Quand la vitesse augmentait et avec elle la tension, la consommation du charbon positif augmentait; quand la vitesse diminuait, la consommation du charbon positif diminuait par rapport au charbon négatif.

Pour l'expérience que je fais devant vous, avec 100 éléments Bunsen en tension, la proportion à laquelle je me suis arrêté est de 36 à 16.

Au point de vue pratique, je crois préférable d'envelopper les deux charbons d'une gaîne protectrice, comme le carton d'amiante

Digitized by Google

que vous voyez ici. Le principal objet de cette protection est d'éviter l'action comburante de l'oxygène sur les charbons, action qui peut, dans certains cas, modifier la proportion de l'usure des deux charbons.

Si l'on étudie la combustion de cette bougie, on observe un phénomène assez particulier. Entre les deux charbons, on voit une goutte de matière isolante fondue par la chaleur de l'arc voltaïque; cette matière isolante, à l'état solide, devient conductrice à l'état liquide; et, si l'arc s'allonge par trop entre les pointes de charbon et s'interrompt, le courant continuant à passer dans la goutte liquide rétablit l'arc à sa surface.

Cette conductibilité de la matière fondue me permet même de produire un arc d'une longueur qu'il n'atteindrait pas sans l'interposition de cette matière.

Cela me donne le moyen d'obtenir deux ou plusieurs arcs voltaïques dans un même circuit.

Je suis parvenu à obtenir quatre lumières simultanées avec une machine Gramme de 100 becs; l'expérience réussit couramment avec deux et trois.

Avec les piles, j'ai fait jusqu'ici peu d'essais et seulement à l'occasion de cette soirée; je n'ai pas essayé plus de deux lumières.

SÉANCE DU 1er DÉCEMBRE 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Colmet-d'Huard, directeur de l'Athénée à Luxembourg (Belgique); Faye, membre de l'Institut; Denayrouse (L.), ancien élève de l'Ecole Polytechnique; Lecoat (Elie), sous-directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie); Meurien, pharmacien à Lille; Amédée Paul, directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie); Payn (John), sous-directeur de l'Eastern Telegraph, à Marseille; Serrin (V.), ingénieur; Walferdin, à Nice.

Digitized by Google

M. Mouton fait connaître les expériences qu'il a entreprises pour vérifier la formule donnée par M. Mascart dans son *Traité d'électricité* comme représentant le moment du couple qui tend à dévier l'aiguille mobile de l'électromètre de M. Thomson, et revient sur quelques détails des expériences sur l'induction qu'il avait présentées dans la séance du 16 juin 1876.

A l'occasion de cette communication, M. Mascart fait remarquer que, depuis la publication de son *Traité d'électricité,* il a retrouvé une formule équivalente de celle vérifiée par M. Mouton, dans les mémoires de M. Maxwell, avec une démonstration différente de celle qu'il a proposée.

M. Gariel indique devant la Société comment il utilise un phénakisticope de projection à 8 lentilles, pour réaliser diverses expériences devant un nombreux auditoire.

Sur les phénomènes d'induction; par M. L. Mouton.

Au moment de la fermeture et à celui de la rupture du courant inducteur, une bobine induite est le siége de mouvements électriques qui, depuis Faraday, ont été constatés et étudiés par l'un ou l'autre des procédés suivants : 1° les extrémités du fil induit sont reliées à un galvanomètre; ce fil constitue ainsi un circuit fermé dans lequel le galvanomètre indique le passage de courants de durée très-courte, dits *courants d'induction;* 2° ces extrémités sont fixées à une spirale magnétisante; les phénomènes sont alors accusés par l'aimantation des aiguilles d'acier placées dans la spirale; 3° ces mêmes extrémités sont mises en relation par le corps d'un animal dont les commotions sont le signe des mouvements électriques; 4° enfin les pôles de la bobine sont séparés par un espace d'air suffisamment faible, ou par une colonne de gaz raréfiés, tels que les fluides ébranlés puissent les franchir sous la forme complexe de l'étincelle ou de la lumière dite *des tubes de Geissler.*

Je me suis proposé de résoudre la question suivante : Les extrémités de la bobine induite étant complétement isolées, de façon

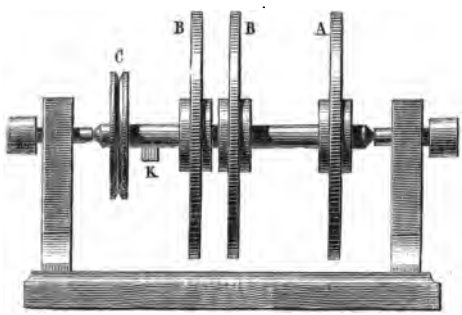
Digitized by Google

qu'il ne puisse se produire ni courant en circuit, ni étincelles, de quels phénomènes le fil induit est-il le siége? En précisant davantage et me bornant au cas de la rupture du courant inducteur, pendant le passage de ce courant, les extrémités du fil induit ne présentent aucune différence de tension (¹); la même chose a lieu quelques instants après la rupture. Par quelles valeurs successives a passé cette différence de potentiel ainsi partie de zéro et revenue à zéro?

Je décrirai d'abord sommairement le dispositif expérimental employé, puis les résultats obtenus (²).

Disjoncteur. — Il se compose d'abord de trois roues en cuivre, de 1 décimètre de diamètre, A, B, B (*fig.* 1), montées sur le

Fig. 1.



même arbre horizontal et soigneusement isolées de cet arbre par des pièces d'ébonite. La roue A produit la fermeture et la rupture du courant inducteur. A cet effet, elle présente un petit filet excentrique *a* (*fig.* 2), qui vient à chaque tour frotter contre une pièce en bronze *b* taillée en couteau. Cette pièce, constamment

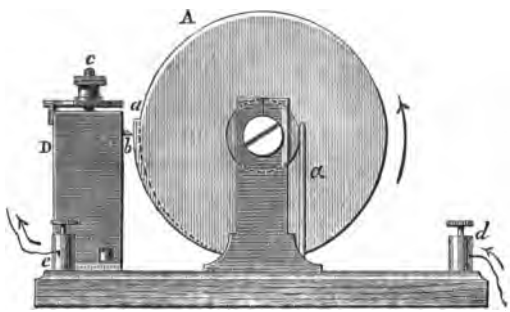
(¹) Il est bien entendu que la tension dont il sera toujours question dans cet article est celle qui se constate par communication métallique lointaine, qui est indépendante du point touché du conducteur, la tension de Volta, comme l'appelle bien justement M. Mascart (*Traité d'électricité statique*, 1876, Préface), ou enfin le potentiel pour ceux que n'effrayent pas trop les considérations mathématiques *a priori*.

(²) Cet article, ainsi que les figures qui s'y rapportent, est extrait d'une thèse que je viens d'avoir l'honneur de soutenir devant la Faculté des Sciences de Paris. Je prie le lecteur d'y recourir pour tout ce qui lui paraîtra ici trop succinctement exposé. (*Ann. de l'École Normale*, 2ᵉ série, t. VI; Paris, Gauthier-Villars.)

Digitized by Google

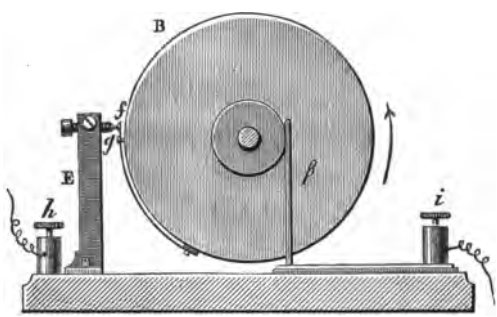
poussée par un ressort, est tenue à distance de la roue A par une vis buttante et ne communique avec elle qu'au passage du filet excentrique. La pièce *b* fait partie d'un système très-solide D, isolé du reste de l'appareil et dans lequel elle peut s'élever ou s'abaisser ver-

Fig. 2.



ticalement de quantités soigneusement mesurées par une vis micrométrique *c* graduée au $\frac{1}{40}$ de millimètre. Le courant inducteur entrant par la borne *d* passe dans la roue A par le ressort frotteur *α*

Fig. 3.



et, pendant le contact de la pièce *b* avec le filet *a*, gagne le système D et retourne à la pile par la borne *e*.

Les roues B, B sont identiques. Chacune d'elles présente un couteau *f* (*fig.* 3) parallèle à l'axe de rotation, porté à l'extrémité d'un long ressort couché parallèlement à la circonférence de la roue et qu'empêchent de vibrer des vis buttantes le condamnant à n'effectuer que des mouvements d'amplitude extrêmement faible.

Digitized by Google

A chaque révolution, le couteau touche une pointe fixe *g* portée sur une colonne isolée et mise en relation avec les quadrants d'un électromètre par un fil partant de la borne *h*. Les roues B, B communiquent en outre constamment, par deux frotteurs β isolés du reste de l'appareil, avec les bornes *i*, mises par un fil en relation métallique avec les extrémités du fil induit. Au moyen de la loupe, contrôlée par un procédé électrique particulier, je m'assurais que les contacts des couteaux *f* avec les pointes *g* avaient bien lieu au même instant. Si l'on se reporte à la description du système D, on voit alors que, en faisant monter ou descendre la pièce *b* au moyen de la vis micrométrique *c*, on peut faire que l'instant du double contact des couteaux *f* et des pointes *g* se rapproche ou s'éloigne de quantités bien déterminées de celui de la rupture métallique du courant inducteur.

Ces quantités, mesurées par la vis micrométrique, se traduisent aisément en temps si l'on connaît la vitesse de rotation de l'appareil. Pour mesurer cette vitesse, une came K (*fig.* 1) pressant sur un ressort fermait, à chaque tour de l'appareil, un courant spécial communiquant avec un système inscripteur dont il sera dit un mot tout à l'heure.

Enfin la poulie C (*fig.* 1) était reliée à l'arbre du moteur par une corde qui communiquait le mouvement à l'appareil.

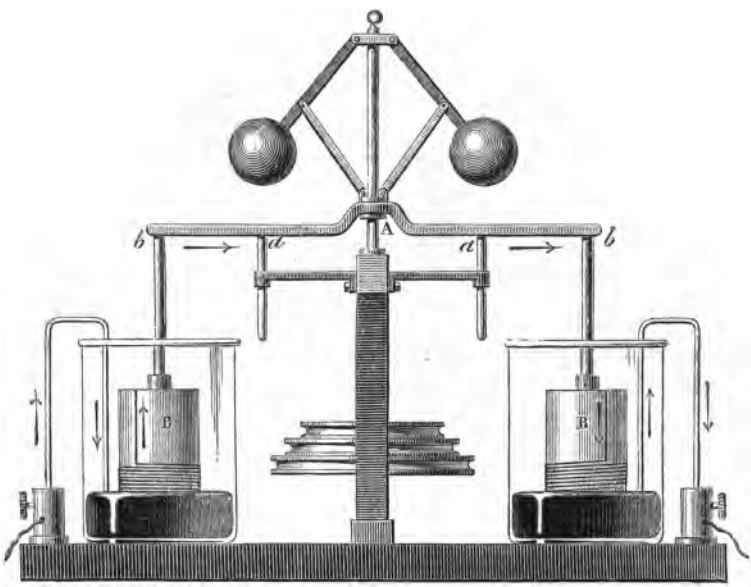
Cet instrument a été construit par MM. Brünner frères.

Moteur et régulateur. — Je me suis servi pour moteur d'une petite machine Gramme dans le fil de laquelle était lancé le courant de deux ou trois éléments Bunsen. Des irrégularités dans le mouvement, dues probablement aux variations de la pile, m'ont conduit à y adjoindre le régulateur représenté (*fig.* 4) et applicable à tout moteur électromagnétique. C'est le système à force centrifuge de Watt, prenant son mouvement par une corde sur l'arbre même de la machine. Au sommet A du losange articulé, où se trouve fixé dans le régulateur des machines à feu l'anneau portant le bras du levier qui doit augmenter ou diminuer l'entrée de la vapeur dans le cylindre, est fixée une tige horizontale faisant corps avec cet anneau et guidée par deux baguettes verticales *a*, *a*, l'empêchant de faire autre chose que s'élever ou s'abaisser parallèlement à elle-même, selon que les boules s'élèvent ou s'abaissent. Aux deux extrémités *b*, *b* de cette tige horizontale sont fixés deux

Digitized by Google

cylindres B, B en caoutchouc durci, sur chacun desquels est enroulé en hélice un fil de fer de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre environ. Ces cylindres plongent dans des vases remplis de mercure; le fil de fer enroulé se trouve ainsi communiquer par une extrémité avec le mercure par l'autre avec l'ensemble métallique de l'appareil. Le courant qui fait mouvoir le moteur, au lieu de se rendre direc-

Fig. 4.



tement dans celui-ci, est d'abord lancé dans le mercure des vases, de là il passe dans les spires émergées du fil de fer, puis dans la machine.

On comprend qu'un accroissement de vitesse, par exemple, de la machine se traduit immédiatement par la sortie d'une ou plusieurs spires du mercure, d'où une augmentation de résistance (la résistance d'une spire était égale au $\frac{1}{10}$ environ de la résistance totale du circuit) et par suite un affaiblissement du courant moteur.

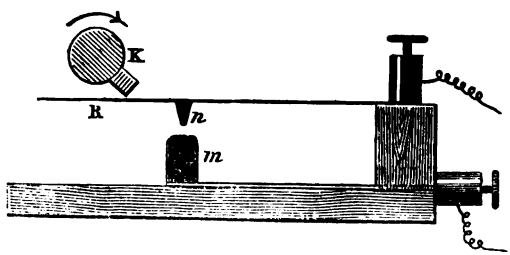
Cet appareil a été construit par M. Ducretet.

Inscripteur du mouvement. — Il était important de savoir d'abord jusqu'où allait la régularité du mouvement. Pour cela, j'adaptai au

Digitized by Google

disjoncteur le petit appareil représenté (*fig.* 5). La came K, dont on a vu la place dans le disjoncteur, venait à chaque tour de celui-ci presser le ressort R et amener le contact entre la pointe *n* et l'enclume *m*. Le courant d'une pile spéciale, alors fermé, mettait en action un électro-aimant inscripteur ordinaire. Ce dernier traçait une courbe sur un cylindre tournant recouvert de papier noirci, concurremment avec celle des vibrations d'un diapason de M. Kœnig donnant l'ut_1, c'est-à-dire faisant soixante-quatre vibra-

Fig. 5.



tions complètes par seconde. Je me suis borné à compter le nombre des vibrations du diapason correspondant à vingt tours du disjoncteur, et, pour citer les chiffres d'une série, je l'ai trouvé compris *toujours* entre 100 et 101; je puis donc affirmer que le nombre *n* de tours par seconde était compris ce jour-là entre $\frac{20 \times 64}{100} = 12,8$ et $\frac{20 \times 64}{101} = 12,7$, et que par conséquent la vitesse ne variait pas, dans un intervalle de plus de quatre minutes, du centième de sa valeur moyenne.

Une fois assuré de la régularité du mouvement, je substituai au cylindre tournant un simple récepteur Morse, dont j'avais comparé la marche à un chronomètre de Winnerl. Il était facile de déduire du nombre de points compris dans une bande de longueur donnée la valeur absolue de la vitesse à chaque expérience.

Électromètre et sa graduation. — L'instrument de mesure était un électromètre à quadrants de M. Thomson, fabriqué chez MM. Elliott, de Londres; il présente le système de réflecteur communément employé dans les galvanomètres de M. Thomson : un petit miroir concave de 80 centimètres de rayon fixé à l'aiguille. En regard

Digitized by Google

et à 80 centimètres, se trouve une planchette portant une échelle horizontale, et au-dessous de cette échelle une fente que les Anglais éclairent par une lampe à pétrole. L'image de la fente et même d'un fil qu'on peut tendre en son milieu se produit très-nette sur l'échelle. L'approximation est incontestablement moindre que celle que donnent les lunettes; mais ce procédé présente en revanche l'avantage de n'exiger qu'un coup d'œil que l'on peut jeter rapidement sur l'échelle, tout en opérant. A ce point de vue surtout, je me permets de le recommander aux chercheurs.

L'aiguille demeurait chargée par la communication du condensateur avec un des pôles d'une pile ouverte qui n'a jamais dépassé cinquante éléments zinc-platine-eau.

Cette méthode de charge est très-commode; mais elle demande à être entourée de quelques précautions.

D'abord il faut se prémunir contre la variabilité possible de cette pile; je l'ai fait en m'en référant tous les jours à une batterie de vingt éléments Daniell, soigneusement montés avec des dissolutions toujours identiques de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre; je considère ainsi comme négligeables, d'après M. Thomson, les variations de cet élément type que je prends comme unité de force électromotrice ou de différence de potentiel (1).

Une cause d'erreurs bien plus considérables peut résulter de la faiblesse de cette charge, à laquelle peuvent devenir aisément comparables les différences de potentiel que l'on veut mesurer.

Dans ce cas une même différence de potentiel des secteurs peut être accusée par des déviations absolument différentes, selon la valeur absolue de ces potentiels. Une formule donnée dans le *Journal de Physique* par M. Mascart (2) m'a permis d'étudier complétement l'instrument sous ce point de vue, et de tirer même avantage de ce qui paraissait tout d'abord une infériorité.

Si V est le potentiel fixe de l'aiguille, V_1 et V_2 ceux des secteurs, le moment du couple qui tend à dévier l'aiguille, supposée retenue au zéro, a une valeur de la forme

$$M = lV(V_1 - V_2) + h(V_2^2 - V_1^2),$$

(1) *Voir* Thomson, *Reprint of papers on electrostatics and magnetism*; London, 1872, p. 246.

(2) *Journal de Physique*, t. IV, p. 324 et suiv. (Extrait d'un *Traité d'électricité statique* aujourd'hui paru.)

Digitized by Google

où l et h sont deux constantes dépendant de l'instrument. J'ai d'abord vérifié la conséquence suivante de cette formule : si les points reliés aux secteurs sont les pôles d'une pile ouverte de force électromotrice totale A, si l'on appelle M_2 le moment du couple de déviation quand le pôle positif communique au sol, M_3 ce moment quand c'est le pôle négatif, et M_1 quand on met au sol le milieu de la pile, on a

$$M_2 = lVA + hA^2,$$

$$M_3 l = VA - hA^2,$$

et

$$M_1 = lVA = \frac{M_2 + M_3}{2},$$

c'est-à-dire que le moment dans le dernier cas est la moyenne arithmétique des deux autres.

Les mêmes piles ouvertes m'ont permis de vérifier la seconde conséquence que voici :

Soit M_1 le moment correspondant au potentiel V de l'aiguille, et V_1, V_2 des secteurs, on a

$$M_1 = lV(V_1 - V_2) + h(V_2^2 - V_1^2).$$

Changeons V en — V, en intervertissant les pôles de la pile de charge : le nouveau moment M_2 sera

$$M_2 = -lV(V_1 - V_2) + h(V_2^2 - V_1^2),$$

qui pourra être de signe contraire ou de même signe que M_1. Retranchons M_2 de M_1, ce qui reviendra, au cas le plus fréquent où les déviations sont de sens contraire, à ajouter leurs valeurs absolues ; on a

$$\frac{M_1 - M_2}{2} = lV(V_1 - V_2),$$

c'est-à-dire la déviation qu'aurait fournie la même différence de potentiel avec deux potentiels égaux et de signe contraire.

Voici un tableau obtenu avec une pile de charge de cinquante éléments zinc-cuivre-eau, et une pile d'essai de trente éléments zinc-platine-eau.

Digitized by Google

CHARGE de l'aiguille.	DÉVIATION droite.	DÉVIATION gauche.	SOMME.	MOYENNE.
		Milieu au sol.		
—	180	195	375	366,5
+	170	188	358	
		Pôle — au sol.		
—	220	220	440	363,5
+	150	137	287	
		Pôle + au sol.		
+	215	225	440	365
—	150	160	290	
		10e *élément du côté négatif au sol.*		
+	170	175	345	362,5
—	185	195	380	

On voit que les nombres de la colonne des moyennes ne diffèrent pas les uns des autres de plus de $\frac{1}{90}$ de leur valeur.

Ce fait établi, j'ai dressé une courbe de graduation de l'instrument en reliant aux secteurs des séries successives de 10, 20, 30,... éléments de pile, à milieu fixé au sol, calquant absolument le procédé de graduation du galvanomètre par la lentille à secteurs de MM. de la Provostaye et Desains ; la *fig.* 6 est une réduction au $\frac{1}{20}$ de la courbe ainsi tracée. J'ai placé entre la pile de charge et l'aiguille un commutateur à bascule permettant une rapide interversion des pôles, et j'ai pu avoir ainsi, par une double mesure, à la fois des nombres toujours comparables entre eux, et être renseigné en même temps sur la valeur absolue des potentiels en jeu.

Soient A l'une de ces déviations, moyenne des deux observations, B l'ordonnée correspondante de la courbe de l'électromètre ; les vingt Daniell donnaient ce jour une déviation a à laquelle correspondait une ordonnée b ; la différence du potentiel est $\frac{20}{b}$ B, l'élément Daniell étant l'unité.

Digitized by Google

Appareil d'induction. — J'ai employé les deux bobines induites suivantes : la première de diamètre extérieur $7^c.5$ environ, lon-

Fig. 6.

gueur 15 centimètres ; le fil y fait 13 860 tours avec un diamètre de $\frac{1}{4}$ de millimètre, et une longueur approximative de 2500 mètres. Sa résistance mesurée directement est 942 Ohms ; elle provient d'un *schlitten-apparat* de du Bois-Reymond, fabriqué à Heidelberg. La seconde bobine m'a été gracieusement offerte par M. Ruhmkorff ; elle a les mêmes dimensions, avec 7260 spires d'un fil de $\frac{2}{5}$ de millimètre de diamètre, environ 1200 mètres de long ; sa résistance est 164 Ohms. Elle est formée de deux bobines qui peuvent s'accoupler, soit par le bout intérieur du fil enroulé, soit par le bout extérieur.

J'ai construit quatre bobines inductrices qui pénétraient exactement à l'intérieur de l'une ou de l'autre des bobines induites dont elles avaient la longueur : elles sont recouvertes d'un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre ; l'une en a une seule épaisseur, les autres deux, trois et quatre ; elles ne présentent aucune pièce de fer à l'intérieur.

Courant inducteur. — Il était fourni par un élément Daniell moyen modèle, plus ou moins complétement rempli avec des dissolutions bien pures de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre ; la résistance en était mesurée par un procédé indiqué dans le *Journal de Physique* (1) ; un rhéocorde de Poggendorff servait à modifier l'intensité du courant, dont une fraction convenable était lancée à volonté dans un galvanomètre de Weber.

(1) *Journal de Physique*, t. V, p. 144.

Digitized by Google

Discussion de la méthode; résultats. — Au point de vue théorique, la méthode employée ne semble pas comporter une longue discussion ; voici sur quoi elle s'appuie : 1° après chaque rupture, l'état électrique du fil induit passe identiquement par les mêmes phases : les commutateurs, rhéotropes, disjoncteurs, etc., employés depuis Masson, n'auraient sans cela aucun sens ; 2° la différence de potentiel que présentent les deux extrémités du fil induit à un temps t déterminé après la rupture du courant inducteur, elles la reprendront par conséquent à tous les temps correspondants. Si, à chacun de ces temps t, elles sont mises en relation métallique avec deux corps A et B et que la durée de cette relation soit assez courte pour que la différence de potentiel propre au temps t n'ait pas changé d'une façon sensible, au bout d'un certain nombre de contacts, qui dépendra de la capacité relative du fil induit et des corps A et B, ces derniers auront pris et conserveront la différence de potentiel des extrémités du fil correspondant au temps t considéré, et à partir de ce moment ces contacts ne troubleront plus le phénomène de l'induction que dans les mesures des pertes que pourront éprouver les conducteurs A et B. Ces pertes peuvent être considérées comme nulles avec des contacts se succédant à moins de $\frac{1}{10}$ de seconde d'intervalle, et quand il s'agit de potentiels ne dépassant pas un ou deux cents Daniell.

Si l'on se reporte aux analogies établies et si souvent invoquées par M. Thomson entre la propagation de la chaleur et celle de l'électricité, le potentiel électrique et la température, ou plus simplement à la considération de la charge à refus des anciens électriciens, ce qui précède paraît incontestable.

Au point de vue pratique, il ne me reste que peu de chose à ajouter à la description des appareils. Voici comment se faisait chaque série d'expériences : d'abord toutes les pointes et couteaux servant de contacts étaient soigneusement examinés à la loupe et retouchés quand ils atteignaient, par l'usure, une épaisseur de $\frac{1}{10}$ de millimètre au plus. Je m'assurais ensuite que les deux couteaux f (*fig.* 3) et les pointes g se touchaient bien au même instant; pour cela les extrémités d'une pile ouverte étaient d'abord mises directement en relation avec les quadrants de l'électromètre et l'on notait la déviation ; je les reliais alors aux bornes et j'amenais les couteaux au contact des pointes; l'un des couteaux était retouché jusqu'à ce

Digitized by Google

que la déviation fût la même. Le système d'induction étant ensuite mis en place, je plaçais le couteau *b* de façon que le double contact précédent eût lieu lorsque le courant inducteur était encore fermé : dans toutes mes expériences l'électromètre resta alors au zéro, ce qui indique que le temps pendant lequel se trouvait fermé le courant inducteur était plus que suffisant pour que tous les phénomènes d'induction correspondant à son établissement fussent éteints. Je faisais marcher enfin degré par degré la vis micrométrique *c* et je notais les données correspondantes de l'électromètre. On se rappelle qu'un télégraphe Morse me donnait le nombre n de tours du disjoncteur par seconde. Il est aisé d'en conclure le temps correspondant au déplacement d'une division de la vis micrométrique. Le diamètre des roues étant de 1 décimètre, la circonférence est 314 millimètres ; à n tours par seconde, il défilait donc devant le couteau $314n$ millimètres par seconde ; d'où le temps correspondant à $\frac{1}{50}$ de millimètre était $\frac{1}{314 \times 50 \times n}$. Le nombre n a été en moyenne de 10, ce qui donne pour le temps considéré $\frac{1}{157000}$ de seconde. Avec la même vitesse, on voit que la durée des contacts des extrémités du fil avec l'électromètre était inférieure à $\frac{1}{314 \times 10 \times 10}$ ou $\frac{1}{31400}$ de seconde.

Résultats obtenus. — 1° Une différence de tension s'accuse entre les deux extrémités du fil induit au bout d'un temps que je crois pouvoir affirmer moindre que 4 millionièmes de seconde après la rupture métallique du courant inducteur. Le retard observé par M. Blaserna dans la production du courant d'induction, lorsque les deux bobines sont séparées, serait donc insensible quand la bobine induite recouvre immédiatement la bobine inductrice.

2° Cette différence de potentiel va en croissant : elle est de sens tel que, si les deux extrémités du fil induit étaient réunies par un conducteur, elle donnerait lieu au courant induit direct des théories ordinaires de l'induction ; il n'est pas douteux que ce serait elle qui produirait tout ou partie de l'étincelle dite *d'induction* au cas où les deux extrémités du fil induit ne seraient séparées que par une mince couche d'air ou une colonne d'un gaz raréfié.

Digitized by Google

3° Aucun phénomène d'étincelle ou de courant n'ayant pu se produire, la différence de potentiel, après avoir atteint un certain maximum, diminue, retombe à zéro, puis change de signe, atteint un nouveau maximum en sens inverse, pour revenir à zéro et se reproduire en sens inverse, etc. : en un mot, elle oscille de part et d'autre du zéro.

4° Les temps qui séparent deux zéros consécutifs sont rigoureusement égaux, à l'exception du premier, toujours plus long.

5° Ces temps diffèrent avec les bobines induites employées ; mais, pour une bobine donnée, ils sont indépendants du nombre de spires qui composent la bobine inductrice et de l'intensité du courant inducteur, du moins dans les limites indiquées plus haut où j'ai opéré.

6° La durée de la première période, en prenant pour unité de temps le millième de seconde que je désigne par σ, a toujours été comprise, pour la bobine de 13860 tours, entre $0^{\sigma},108$ et $0^{\sigma},112$, soit environ $0^{\sigma},110$; elle a été pour la seconde bobine $0^{\sigma},035$.

7° La durée commune aux périodes isochrones qui suivent la première a été comprise pour la bobine la plus longue entre $0^{\sigma},076$ et $0^{\sigma},077$: elle a été pour l'autre de $0^{\sigma},023$ à $0^{\sigma},025$.

8° Si l'on met dans l'intérieur de la bobine inductrice des fils de fer doux, leur effet est d'allonger la première période seulement, les autres reprenant les valeurs précédentes. Ainsi, des morceaux de fil de fer de 1 millimètre de diamètre étant introduits dans la bobine, successivement au nombre de 10, 20, 40, les durées correspondantes de la première période (bobine longue), au lieu de $0^{\sigma},110$, ont été $0^{\sigma},144$, $0^{\sigma},153$, $0^{\sigma},171$, et, pour les périodes isochrones, $0^{\sigma},076$ comme plus haut.

9° La durée des oscillations isochrones paraît donc ne dépendre que de la bobine induite elle-même. Bien que n'ayant opéré que sur deux bobines, je me permettrai de faire remarquer la relation suivante : les durées des oscillations isochrones pour les deux bobines sont entre elles comme les quotients de la longueur des fils par leur diamètre. Ce quotient serait ainsi une espèce de résistance à un flux électrique parcourant les surfaces et dans laquelle le périmètre remplacerait la section. Si l'on se reporte, en effet, aux longueurs et diamètres des fils des deux bobines décrites plus haut,

Digitized by Google

on a $\frac{2500}{0,25} : \frac{1200}{0,4} = 3,4$; le rapport des temps est $\frac{0,077}{0,023} = 3,3$. Comme vérification, on doit encore trouver le même nombre pour le rapport des produits des résistances ordinaires de Ohm par les diamètres, et en effet on a $\frac{942 \times 0,25}{164 \times 0,4} = 3,5$.

10° Lorsque la bobine induite est formée d'une seule partie, de sorte que l'une des extrémités du fil se trouve à l'intérieur de la masse enroulée et l'autre à l'extérieur, la première reste pendant toute la durée du phénomène à un potentiel *à peu près* nul; la différence mesurée représente ainsi tout entière le potentiel du pôle extérieur. Si la bobine est formée de deux bobines semblables, reliées soit par leurs extrémités intérieures, soit par leurs extrémités extérieures, les deux pôles libres ont à chaque instant des potentiels égaux et des signes contraires.

Ce fait entraîne la conséquence suivante : si l'on veut essayer de tirer des étincelles des pôles isolés d'une bobine Ruhmkorff en en approchant un conducteur en relation avec le sol, un seul pôle en fournira dans les bobines petit modèle non cloisonnées, où l'enroulement est unique; tandis que les deux pôles en donneront indistinctement dans les bobines grand modèle, où le cloisonnement produit une symétrie entre les deux parties du fil induit.

11° L'appareil d'induction restant le même, si l'on change l'intensité du courant inducteur, les valeurs du premier maximum, le seul dont je me sois occupé dans ce cas, croissent plus vite que proportionnellement aux intensités du courant inducteur; mais, si l'on considère les valeurs des intégrales $\int_0^\theta E dt$, où E désigne la différence de potentiel fonction du temps et θ le temps compris entre le début et le premier zéro, ou, ce qui revient au même, les aires de la première boucle de la courbe générale: ces valeurs sont exactement proportionnelles aux intensités du courant inducteur.

Exemple : courants, 1, 2, 3; premiers maximum, 18, 40, 63; aires 140, 281, 428.

12° L'intensité du courant inducteur restant la même, les valeurs du premier maximum croissent plus vite que proportionnellement aux nombres de couches de spires composant la bobine inductrice;

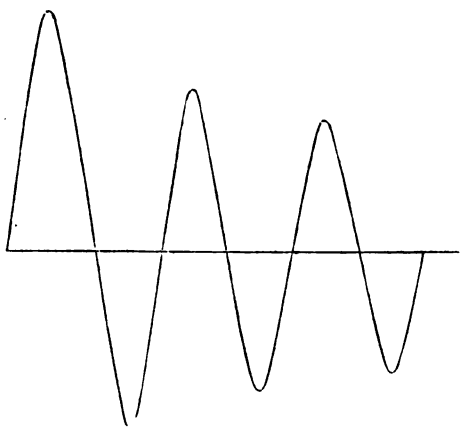
Digitized by Google

mais les aires $\int_0^\theta E\,dt$ leur sont encore proportionnelles. *Exemple :* nombre de couches, 1, 2, 3, 4; premiers maximum : 28, 61, 104, 150; aires : 90, 182, 300, 393. (Il y a ici une erreur par excès, que j'ai toujours trouvée dans ce sens.)

13° L'introduction de dix morceaux de fil de fer doux dans la bobine inductrice a fait monter le premier maximum de 18 à 50, et l'intégrale $\int_0^\theta E\,dt$ de 140 à 457.

14° La (*fig.* 7) représente les six premières boucles de la courbe

Fig. 7.



complète représentant les différences de potentiel par lesquelles passent, après la rupture du courant inducteur, les extrémités du fil induit, dans les conditions que je vais spécifier. De l'inspection de cette figure, il résulte que les maximum diminuent assez lentement pendant la période oscillatoire [1].

Il est probable que le nombre des oscillations est théoriquement infini, ce qui revient à dire qu'on en observera d'autant plus qu'on les produira plus intenses et qu'on emploiera des instruments de mesure plus sensibles. Aussi je ne me suis pas attaché à ce point, et les six boucles qui sont ici représentées sont tout ce que me

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 3 janvier, 12 juin et 10 juillet 1876.

Digitized by Google

permettait d'obtenir mon disjoncteur, dans la construction duquel je n'ai pas hésité à sacrifier la poursuite du phénomène aux avantages de rigueur et de sûreté qu'offre toujours une vis micrométrique de peu d'étendue. Dans mes premières expériences [1], faites avec un instrument moins précis, j'ai compté plus de trente oscillations, et le vingtième maximum était encore accusé par une déviation de 160 à l'échelle de l'électromètre.

Je donne, en même temps que la courbe qui précède, la série d'expériences dont elle est la traduction. Cette série a été obtenue le 3 mai 1876; la bobine induite était celle de 13 860 tours; la bobine inductrice avait deux épaisseurs de spire, sans fer à l'intérieur. La pile inductrice était un élément Daniell, demi-grandeur, rempli au $\frac{2}{3}$ environ de dissolutions bien pures de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre; sa résistance était 4,5 unités Siemens; le courant traversait en plus une résistance de 1,5 unité Siemens. La vitesse de rotation du disjoncteur était telle, que l'unité de la colonne 1, qui est le temps correspondant à l'une des vingt-cinq divisions du limbe de la vis micrométrique, était $0^s,000045$; l'unité de la colonne 2 est la force électromotrice d'un Daniell, c'est-à-dire la différence de potentiel que présentent les deux pôles d'un élément Daniell ouvert :

1.	2.	1.	2.	1.	2.
$1^t.06^{div.}$	0	$2^t.21^{div.}$	$4,0^{gauche.}$	$4^t.05^{div.}$	0,0
07	$7,0^{droite.}$	23	$12,0^{droite.}$	07	$12,0^{droite.}$
12	34,4	3.02	34,4	10	25,0
18	61,7	04	41,4	14	34,4
24	36,8	08	32,3	18	25,0
2.03	9,0	12	7,0	22	5,0
05	0	14	$5,0^{gauche.}$	24	$4,0^{gauche.}$
07	$18,0^{gauche.}$	17	23,0	5.02	19,4
09	32,0	20	36,8	07	31,6
14	46,0	22	36,8	13	12,0
17	36,0	4.01	23,6	16	$9,0^{droite.}$

[1] Voir *Comptes rendus* du 3 janvier 1876.

Digitized by Google

Dans le dessin de la (*fig.* 7) $\frac{1}{2}$ millimètre représente en abscisse un temps égal à $0^s,00000045$ et en ordonnée la différence de potentiel, force électromotrice d'un Daniell. L'origine des coordonnées ou des temps est l'instant de la rupture métallique du courant inducteur, à partir duquel la courbe s'élève sans être tangente ni à l'un ni à l'autre des axes de coordonnées.

Ce travail a été fait au laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure.

La persistance des impressions sur la rétine, expériences diverses exécutées à l'aide du phénakisticope de projection; par M. C.-M. Gariel.

La rétine possède une propriété particulière qui donne l'explication d'un grand nombre de phénomènes et qui a été mise à profit dans beaucoup d'expériences de Physique; nous voulons parler de la *persistance des impressions* par suite de laquelle toute sensation lumineuse est prolongée pendant un certain temps après l'instant où a cessé la cause qui lui avait donné naissance. Sans vouloir entrer dans les détails que comporterait une étude complète de cette propriété, nous signalerons ce fait, qu'elle est la cause de la *continuité* des sensations produites par des actions *intermittentes* en réalité. C'est ainsi que, d'une part, si devant une source lumineuse on fait tourner avec une certaine vitesse un disque présentant un certain nombre d'ouvertures, l'œil aura l'impression d'une lumière continue, pourvu que la durée du passage des parties pleines devant la source de lumière soit moindre que celle pendant laquelle la rétine conserve l'impression persistante; c'est même sur cette remarque qu'est basée l'une des méthodes à l'aide desquelles on a mesuré la durée de la persistance, qui a été évaluée à environ $\frac{1}{5}$ de seconde par Plateau. De même, si l'on projette sur un écran une image réelle formée par des rayons sur le trajet desquels on a placé le disque tournant dont nous venons de parler, l'image paraîtra exister sans interruption, bien que, en réalité, elle ne se produise que par intermittences. Il y a eu, dans ces deux cas, production de la *continuité dans le temps*.

Digitized by Google

C'est à cette circonstance qu'il faut rapporter l'expérience de la recomposition des couleurs à l'aide du disque de Newton; on voit en effet que, en un certain point quelconque que l'on fixe, passent successivement des bandes diversement colorées; chaque bande d'une couleur déterminée repasse assez tôt au même point pour que l'impression qu'elle a produite ne soit pas effacée, et par suite l'effet est le même que s'il y avait persistance, continuité de la couleur considérée au point fixé; et, comme il en est de même pour chacune des couleurs, l'œil est affecté comme si toutes les couleurs existaient simultanément en ce point, d'où résulte l'effet observé, à savoir la production du blanc.

D'autre part, si un point lumineux se meut avec une suffisante rapidité, au lieu de le voir successivement aux différents points de la trajectoire qu'il suit en réalité, nous apercevons cette trajectoire sur une certaine étendue qui est celle qu'il parcourt pendant la durée de la persistance de l'impression; ainsi, si l'on fait mouvoir rapidement un charbon enflammé, on voit une ligne ou une bande lumineuse (suivant l'étendue de la partie en ignition), et, si le charbon décrit une circonférence, sa vitesse peut facilement être assez grande pour que cette ligne paraisse à la fois lumineuse dans toute sa longueur. Il y a eu ici production de la *continuité dans l'espace*. Nous signalerons, sans insister autrement, comme application de cette propriété le photomètre de Wheatstone.

Dans le premier cas que nous avons considéré, nous avons supposé implicitement que la source lumineuse et l'image avaient toujours même forme; s'il en était autrement, si les diverses images successives différaient les unes des autres, pourvu que les variations ne fussent pas trop considérables et qu'elles suivissent une certaine loi, nous serions affectés absolument de la même manière que si l'on avait devant soi une image ou un objet changeant de forme d'une manière continue et par degrés insensibles; il y a donc substitution à l'intermittence de la *continuité dans la forme*. Les expériences faites à l'aide du phénakisticope, soit par vision directe, soit par projection, sont des applications de cette propriété, qui dérive comme les précédentes de la persistance des impressions sur la rétine.

On conçoit facilement, sans qu'il soit nécessaire d'insister et parce qu'il n'y a pas jusqu'à présent d'application à signaler, qu'il pour-

Digitized by Google

rait de même y avoir lieu de constater la production de la *continuité dans l'intensité lumineuse*.

Il y a un appareil fort intéressant, employé d'une manière courante depuis quelques années dans les cabinets de Physique, et qui est une application des trois premiers principes que nous venons de passer rapidement en revue : c'est le miroir tournant employé par Kœnig pour l'observation des flammes manométriques dans les expériences d'acoustique. Bien qu'à chaque révolution (ou quatre fois par révolution pour les miroirs ordinaires à quatre pans) l'image de la flamme n'apparaisse qu'un instant en un point, en chaque point elle paraît continue ; on fusionne de même les diverses images faites successivement en des points voisins, de manière que l'on voit une bande lumineuse continue ; enfin, en chaque point, il paraît y avoir oscillation continue, parce qu'en chaque point se produisent successivement des images correspondant à des phases différentes de la vibration de la flamme.

En se basant sur cette analyse sommaire de trois appareils différents au premier abord, le disque de Newton, le phénakisticope et les miroirs tournants, on conçoit que, puisqu'ils sont basés sur le même principe, ils doivent pouvoir donner lieu aux mêmes effets s'ils sont convenablement modifiés dans leur emploi. C'est par ce raisonnement que nous avons été conduit à nous servir du phénakisticope dans quelques expériences ; nous allons décrire les principales que nous avons faites déjà en nous servant d'un phénakisticope ordinaire de projection, dont on enlève seulement le plateau qui porte les figures servant ordinairement à donner l'impression de figures mobiles. Les expériences réussissent mieux en faisant doubler le nombre des lentilles qui existent ordinairement, ce qui ne change absolument rien au fonctionnement de l'appareil et donne une intensité plus considérable aux images obtenues.

I. Les lentilles mobiles étant au repos, on projette sur un écran une image lumineuse quelconque, celle de l'ouverture pratiquée dans un écran, par exemple ; si l'on vient alors à faire tourner lentement le disque qui porte les lentilles, on verra d'abord l'image se déplacer, disparaître, puis apparaître de nouveau en se formant à travers la lentille suivante. Mais, si l'on accélère la rotation, il y a un instant où les images successives se fusionnent, et l'on voit sur

Digitized by Google

l'écran une bande lumineuse de la hauteur de l'image, courbée en arc de cercle. Cette bande lumineuse est naturellement de la couleur de la lumière qui sert à la projection.

II. Si, dans les mêmes conditions, on projette deux images de couleur différente à la même hauteur, chacune d'elles donnerait lieu à une bande de la couleur correspondante si elle était seule; mais leur ensemble donne une bande de la couleur correspondant au mélange des deux couleurs données. En particulier, si l'on opère avec deux images colorées par la polarisation rotatoire et qui soient complémentaires, on a une bande blanche très-nette; si l'on s'arrange pour que les deux images, sans être à la même hauteur complétement, aient une partie au même niveau, les deux bandes colorées empiéteront partiellement et donneront pour cette partie commune une bande blanche, accompagnée en haut et en bas d'une bande colorée; on voit ainsi à la fois les couleurs composantes séparées par une bande ayant la couleur résultante.

III. Si l'on projette de la même façon un spectre à l'aide d'un prisme vertical, la rotation de l'appareil donnera une bande d'un blanc parfait. Cette expérience est intéressante en ce qu'elle montre successivement au même point le spectre et la lumière blanche provenant de la recomposition des lumières colorées qui le composent, ce qui constitue une disposition particulièrement favorable pour les cours.

IV. On place derrière l'appareil une flamme manométrique et l'on cherche l'image de cette flamme sur un écran; la flamme étant peu lumineuse, il convient d'opérer dans une salle aussi peu éclairée que possible. La rotation de l'appareil donne naissance sur l'écran à une bande lumineuse dont le bord inférieur, seul bien limité (l'image étant renversée), est uni; mais, si la flamme vient alors à vibrer par suite d'une quelconque des expériences où l'on emploie d'ordinaire le miroir tournant, le bord inférieur de la flamme présente des dents ayant une forme analogue à celles que l'on observe dans le miroir tournant. Cette expérience, qui permet de projeter facilement toutes les expériences comportant des flammes manométriques, a paru utile dans diverses circonstances; il est certain que,

Digitized by Google

dans une vaste salle, l'emploi du miroir est peu commode; d'une part, les auditeurs ne savent pas au juste quel point il faut regarder; puis les images sont d'une faible intensité et sont d'autant moins facilement distinctes que la flamme, plus intense, est voisine de l'image. Dans le cas de la projection, au contraire, l'écran est un point déterminé sur lequel l'attention est seulement appelée; la flamme n'étant pas vue directement, les images sont plus faciles à distinguer. Ajoutons, mais c'est là un point sur lequel nous nous proposons de revenir, que les images dentelées sont moins déformées que par l'emploi du miroir, et qu'elles permettront sans doute d'effectuer des mesures, si l'on a soin de communiquer au disque mobile un mouvement uniforme dont la vitesse soit connue.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus Membres de la Société: MM. Hugon, ingénieur civil; Macé, Professeur au Lycée de Grenoble; Pache, Ingénieur, à Mulhouse.

M. André, après avoir rappelé les travaux auxquels a donné lieu l'observation du passage de Vénus sur le disque du Soleil depuis le passage observé au siècle dernier, expose les expériences qu'il a entreprises sur l'apparence appelée *goutte noire*, *pont* ou *ligament noir*, signalée par diverses astronomes et dont Lalande avait essayé une explication.

A l'occasion de cette communication, M. Wolff fait remarquer que, dans l'observation du prochain passage de Vénus, on pourra se servir avec succès des petites lunettes, ce qui ne sera pas sans intérêt à cause des facilités de transport qu'elles présentent. Il faut remarquer que, si dans un travail antérieur fait en collaboration avec M. André, il a été conduit à des conséquences qui semblent en contradiction avec les résultats indiqués ci-dessus, cela tient à ce que les expériences furent faites avec des lunettes dont les objectifs

Digitized by Google

étaient trop larges pour que les phénomènes de diffraction eussent une grandeur appréciable.

Sur le phénomène dit de la goutte noire et son influence sur l'observation du passage de Vénus; par M. Ch. André.

« Au lieu de se présenter à l'observateur comme le contact géométrique de deux cercles d'inégal rayon, dit le P. Hell dans son remarquable Rapport sur le passage de 1769, la planète Vénus et le bord du Soleil m'ont paru pendant longtemps réunis par un ligament noir, une véritable goutte noire, qui a duré pendant plus d'une minute. L'instant que j'ai noté pour celui du contact est celui de la rupture de cette goutte et l'apparition de la lumière, au point de contact entre Vénus et le Soleil. »

Tel est le phénomène qui, depuis plus d'un siècle, préoccupe les astronomes du monde entier. La détermination de l'instant du contact de Vénus avec le bord du Soleil a été, en effet, donnée autrefois par Halley, comme la meilleure méthode qui permette d'obtenir la parallaxe du Soleil, et par suite la distance du Soleil à la Terre.

A quoi attribuer une pareille apparence? Quel est alors le phénomène que l'astronome doit prendre pour l'instant du contact? Et ce phénomène, s'il est dû à des causes étrangères, peut-il être évité?

L'illustre Lalande, dans son Mémoire sur les passages de Vénus observés au siècle dernier, attribua la formation de la goutte noire à une cause tenant à l'œil lui-même et produisant les faits connus sous le nom d'*irradiation*. En vertu de l'irradiation, la forte lumière émise par le Soleil produit sur la rétine l'effet de nous faire voir le disque solaire plus grand qu'il ne l'est en réalité, celui de Vénus plus petit qu'il ne l'est en effet, d'où le ligament noir qui paraît les réunir.

Les astronomes ont depuis porté leur attention sur l'observation du passage de Mercure; mais, tandis que certains d'entre eux ont vu le ligament noir, d'autres ont, au contraire, observé un phénomène purement géométrique.

Digitized by Google

Après le passage de Mercure du 4 novembre 1868 M. Wolf et moi, nous avons cherché à reproduire artificiellement le passage lui-même, et nous avons été conduits à admettre que ce ligament noir était dû uniquement soit aux défauts des objectifs, soit à ceux de la mise au point de l'oculaire.

Mais, pendant l'observation que j'ai faite à Nouméa, le 9 décembre 1874, les apparences que j'ai vues m'ont paru ne point s'accorder avec nos opinions antérieures; et, depuis, j'ai installé des expériences nouvelles dont voici le résumé.

Le principe de l'appareil que j'ai employé, et qui a été construit par MM. Brunner frères, est le suivant :

Une lame de verre dépoli qu'on éclaire, soit à l'aide de la flamme du gaz réfléchi par de la chaux, soit avec la lumière Drummond, soit encore au moyen d'une machine électromagnétique de l'*Alliance,* figure le Soleil. Une lame métallique noircie, ayant d'un côté la courbure même du bord du Soleil, forme le fond obscur du ciel; mais son bord courbe est double. Une lame plus petite, usée sur le même bassin d'optique, mobile autour d'un centre et équilibrée de façon qu'elle coïncide avec la première dans l'état ordinaire, tourne dans un plan parallèle au sien (mais en ne cessant pas d'être invisible pour l'observateur), dès que la plus petite force vient à la soulever.

En avant de cette lame noircie se meut, entraîné par un mouvement isochrone du système de M. Y. Villarceau, un disque métallique dont le diamètre apparent, vu dans la lunette, est précisément celui de Vénus au jour du passage, et qui, de plus, coupe le Soleil sous l'inclinaison convenable.

L'un des pôles d'une pile communique avec la planète Vénus, l'autre avec le bord mobile du Soleil; de sorte que, au moment où le contact géométrique a lieu, un courant se produit, qu'on enregistre sur un chronographe Breguet. Sur le même chronographe s'inscrivent parallèlement l'heure donnée par une pendule Winnerl, et le *top* donné par l'observateur sur un manipulateur Morse.

Les conclusions auxquelles m'a conduit l'étude des contacts internes sont les suivantes :

1° Ce que l'on a appelé la *goutte noire,* le *pont* ou *ligament noir,* est, non pas un fait accidentel, mais bien un fait *nécessaire, caractéristique* du phénomène lui-même. Il n'est dû ni aux dé-

Digitized by Google

fauts de l'objectif, ni à la mauvaise mise au point de l'oculaire.

Avec une source lumineuse suffisamment intense, un pont se produit *toujours* au moment du contact géométrique, quelque parfaite que soit la lunette employée ; mais les dimensions angulaires de ce pont sont inversement proportionnelles au diamètre de l'objectif; et, dès que ce diamètre atteint 5 ou 6 pouces, le pont devient pour ainsi dire insensible.

2° On peut d'ailleurs le faire disparaître complétement dans l'image rétinienne, et cela de deux manières, soit en augmentant suffisamment le pouvoir absorbant du verre noir qui sert à l'observation, soit en plaçant en avant de l'objectif un écran particulier, formé d'un grand nombre d'anneaux très-étroits, séparés les uns des autres par des anneaux obscurs de même largeur.

On peut aussi le faire disparaître en réduisant d'une manière convenable l'intensité de la source lumineuse qui figure le Soleil. En rapprochant ce moyen du premier, on obtient une démonstration saisissante de ce fait que, dans l'observation astronomique, l'œil et la lunette forment un *système optique unique et déterminé.*

Dans l'un et l'autre de ces trois cas, le passage se produit d'une *façon géométrique.*

3° Tous ces faits sont d'accord avec la théorie de la diffraction bien interprétée et ils peuvent se démontrer par un calcul rigoureux.

4° L'existence de ce pont ou ligament noir n'est d'ailleurs point un obstacle réel à la bonne observation du passage. Dans ce phénomène, alors compliqué, il existe une *phase simultanée* pour toutes les lunettes, quelles qu'en soient les ouvertures, qui correspond au contact géométrique, et qu'après une éducation convenable on parvient à observer avec une erreur au plus égale à $0^s,75$ pour le contact interne d'entrée et à $1^s,50$ pour le contact interne de sortie.

5° L'erreur totale commise sur la durée du passage peut donc être réduite à $2^s,5$. Or, pour avoir la *parallaxe solaire à un centième de seconde d'arc,* il suffit de ne pas commettre sur cette durée une *erreur supérieure à cinq secondes de temps;* l'observation du passage de Vénus peut donc fournir cette parallaxe à *cinq millièmes de seconde d'arc* près.

Digitized by Google

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ.

PENDANT L'ANNÉE 1876.

Annales télégraphiques (année 1876).

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (année 1876).

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (année 1876).

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1876).

Note sur un appareil de M. Melsens dit Rhé-Électromètre; par M. *Hervé Mangon.*

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme* (Angers, 1876).

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme* (Angers, 1876).

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

Propagation de la chaleur dans les corps cristallisés; par M. *Jannettaz.*

Studi sperimentali sul Magnetismus temporario e sul permanente; par M. *Constanzo Glisenti.*

Delle Magneti permanenti e sei vari methodi per otternelle; par M. *Constanzo Grisenti.*

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant.*

Recherches sur la Capillarité dynamique (3e Mémoire); par M. *Decharme* (Angers, 1876).

La Chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *A. Mouchot* (Paris, 1869).

Étude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron* (Paris, 1876).

Journal of the Society of Telegraph Engineers (années 1872-1873-1874-1875).

Le moteur hydro-thermique; par M. *F. Tommasi.*

Recherches sur les chronomètres et les instruments nautiques (Imprimerie Nationale, 1876); par M. *Caspari.*

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique; par M. *Gripon.*

Digitized by Google

Expériences pratiques de la boussole circulaire; par M. *Duchemin*.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (Thèse); par M. *Mouton*.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel* (Caen, 1876).

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *M. Neyreneuf* (Caen, 1876).

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*.

Sulla Pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*.

Prodromo di un catalogo fisico delle Stelle colorate; par le P. *Secchi*.

Télégraphes, postes et transports (agendas Dunod, 1877).

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*.

Digitized by Google

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1876.

Dix éléments Grenet; donnés par MM. *Ducretet et Cie*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *Duboscq*.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

(1877.)

BUREAU.

MM. Becquerel (Edmond), *Président.*
Blavier, *Vice-Président.*
D'Almeida, *Secrétaire général.*
Cazin, *Secrétaire.*
Mouton, *Vice-Secrétaire.*
Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. Blavier, 1875.
Bourget.
Cornu.
Duboscq.

Berthelot, 1876.
Bertin.
Fizeau.
Du Moncel.

D'Arlincourt, 1877.
Fernet.
Marey.
Marié-Davy.

Membres non-résidants :

MM. Meunier-Dollfus (Mulhouse), 1875.
Raulx (Auch).
Strumbo (Athènes).
Ternant (Marseille).

Andrews (Belfast), 1876.
Duclaux (Lyon).
Govi (Turin).
Gripon (Rennes).

Crova (Montpellier), 1877.
Secchi (Rome).
Spottiswoode (Londres).
Terquem (Lille).

MEMBRES HONORAIRES.

MM. Becquerel, Membre de l'Institut.
Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
V. Regnault, Membre de l'Institut.
Le P. A. Secchi, Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
Sir William Thomson, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow,

Digitized by Google

MEMBRES A VIE (1).

MM. Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
D'Almeida, Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
Warren de la Rue, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
Mascart, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesle.
Niaudet, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Vice-Président de la Société royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Façulté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Queen's College, Belfast (Irlande).
ANGOT, Professeur au Lycée de Versailles, 9, rue Berthollet.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 102, rue Neuve-des-Mathurins.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.
AUBRY, Professeur au Collége d'Avallon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BEAUME, Professeur au Lycée de Bourg.
BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.
BECQUEREL, Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Henri), Élève des Ponts et Chaussées, 10, rue Gay-Lussac.

---

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisation sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. IV, dernier paragraphe.)

Digitized by Google

MM.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne).
BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 54, rue Madame.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.
BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.
BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.
BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.
BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.
BICHAT, Professeur au Lycée de Versailles, 65, rue de Montreuil.
BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 15, rue Guy-de-la-Brosse.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'administration genérale des lignes télégraphiques.
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, Préparateur à la Faculté des Sciences, 8, rue des Écoles.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 85, rue Mouffetard.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études à Sainte-Barbe, rue de Reims.
BOURSAC, ancien Proviseur, à Angoulême.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue de l'Odéon.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.
BRANLY, Professeur à l'Université Catholique, 49, rue Gay-Lussac.
BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BRÉGUET (Ant.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 39, quai de l'Horloge.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 21, rue de Turin.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABANELLAS (G.), Lieutenant de Vaisseau, 5, rue Mogador.
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CAILLETET, Manufacturier, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVALLIÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZIN, Professeur au Lycée Fontanes, 14, rue de Beaune.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.

Digitized by Google

MM.

CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 38, rue des Écoles.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, Directeur de la Manufacture des Tabacs, 63, quai d'Orsay.
CROIX, Professeur au Collége, 18, Grande-Rue, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Laval, 34, rue de Nantes.
DALMAN, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DECLERC, Professeur au Collége de Langres (Haute-Marne).
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 325, rue de Bourgogne.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DENAYROUSE (**L.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 3, boulevard Voltaire.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.
DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Lodève.
DOULIOT, Principal du Collége de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Inspecteur de l'enseignement primaire, à Saint-Girons (Ariége).
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue des Ursulines.
DUPAIGNE, Professeur au Collége Stanislas, 172, boulevard Montparnasse.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.
DUTER, attaché au Laboratoire des hautes études à la Sorbonne.

EGOROFF (**Nicolas**), au Cab^t de Phys^e de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville, 41, rue des Teinturiers.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAVÉ, élève Ingénieur hydrographe, 108, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 9, chaussée de la Muette, Passy-Paris.
FERNET, Répétiteur à l'École Polytechnique, 93, rue des Feuillantines.

Digitized by Google

MM.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FLETWOOD LAWTON (**George**), Électricien de l'Eastern Telegraph, 8, rue du Pavé-d'Amour, à Marseille.

FONTAINE (**Hippolyte**), 52, rue Saint-Georges.

FONTBONNE (l'abbé), aumônier de l'hôpital militaire de Bône (Algérie).

FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.

FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).

FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.

FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.

GARBE, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

GARÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.

GAUGAIN, 1, rue d'Assas.

GAUTHIER-VILLARS, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.

GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.

GAYON, Chimiste en chef de la Douane des sucres, à Bordeaux.

GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.

GIRARD (**Ch.**), Manufacturier à Ris-Orangis (Seine-et-Oise).

GIRARD (**M.**), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.

GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Toulon.

GOVI, Professeur à l'Université de Turin, 2, rue de Grammont.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kay**), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes, 24, rue Dorée.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.

GUELPA, Principal du Collége de Sétif.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

HARMAND, Sous-Chef des ateliers au chemin de fer de l'Est, à Épernay.

HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).

Digitized by Google

MM.

HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.
HUREAU DE VILLENEUVE (**le Dr**), 95, rue Lafayette.
HURION, Préparateur de Physique au Collége de France, 11, rue des Écoles.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

JABLOSCHKOFF, Ingénieur, 22, rue du Sommerard.
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Tourcoing.
JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.
JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur du Laboratoire d'astronomie physique, à Meudon.
JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
JÉNOT, Professeur au Lycée, à Nancy.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 37, rue Letort.
JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 50, rue Gay-Lussac.
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 11, quai d'Anjou.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 30, rue Hautefeuille.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (**de**), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.
LALANCE (**l'Abbé**), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.
LAPORTE, Lieutenant au 5e bataillon de chasseurs à pied, au camp d'Avor (Cher).
LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.
LATTES (**Oreste**), Ingénieur à Turin, 51, rue Vivienne.
LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Censeur du Lycée de Douai.
LE BLANC (**Félix**), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.
LEBOSSÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).
LECARME, Professeur au Collége Chaptal, 87, rue Saint-Pétersbourg.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.
LECOAT, Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), à Cognac.
LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 38, quai Henri IV.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte (Corse).
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LIPPMANN, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, 59, rue des Feuillantines.

Digitized by Google

MM.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Besançon.

MACÉ, Professeur au Lycée, à Grenoble.
MALLEZET, Architecte, 87, rue de Monceau.
MANGIN, Commandant du Génie, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége d'Épernay.
MASSON (**G.**), 10, rue Hautefeuille.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 27, rue Caumartin.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (**Comte du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.
MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Directeur-adjoint du Laboratoire des Hautes Études, 61, rue des Feuillantines.
MUIRHEAD (**Dr Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.
MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER, 11, boulevard du Temple.

PACHE (**Alf.**), Ingénieur, 20, rue des Orphelins, à Mulhouse.
PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 103e de ligne, 60, rue Truffaut.
PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Marseille.

Digitized by Google

MM.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Fontanes, 21, rue Monge.
PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 4 *bis*, Avenue du Bois de Boulogne.
PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.
PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.
PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.
PROTCHE (**le Colonel**), Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.
PUYFONTAINE (**Comte de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 37, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
RAMEAUX, Professeur à la Faculté de Nancy.
RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Professeur à la Faculté de Bordeaux, 88, rue du Tondu.
RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.
REYNIER, Ingénieur, 57, boulevard Voltaire.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
REGNAULT (**V.**), Membre de l'Institut, rue de la Fontaine, Passy.
REY, Professeur de mathématiques à l'École régimentaire du Génie, à Arras.
ROLLAND (**Eug.**), Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
ROLLAND, 11, rue de Rivoli.
ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.
ROMMIER, 6, place Saint-Sulpice.
ROSENSTIEHL, Chimiste, 8, Chaussée Dornach, à Mulhouse.
RUHMKORFF, Constructeur, 13, rue Champollion.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.
SCHÆFER (**G.-H.**), Professeur au Collége de Béziers.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Physique, 1, rue du Siphon, Mulhouse.
SECCHI (**le P. A.**), Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SÉGUIN, Recteur de l'Académie de Caen.
SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SIMONSTRE (**l'Abbé**), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

Digitized by Google

MM.

SIRVENT, Professeur au Collége Rollin, 116, rue de Rennes.
SOBAUX (**l'Abbé**), Prof. au Petit Séminaire de Paris, 19, rue N.-D.-des-Champs.
SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.
SPOTTISWOODE (**W.**), Vice-Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nîmes, 61, rue Roussy.
TERNANT, Repr^t de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, r. Pavé-d'Amour, Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.
THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow.
TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 69, avenue de l'Alma.
TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.
TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).
TRIPIER (**le D^r**), 6, rue Louis-le-Grand.
TURIÉRE, Professeur au Collége de Béziers.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électro-magnétiques, 67, avenue de Wagram.
VARIN, Professeur au Collége, à Épinal.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.
VERMEILLE, Professeur au Collége de Cambrai.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.
VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
WALFERDIN, à Nice.
WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.
WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.
WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 95, rue des Feuillantines.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 10, rue Monge.

(Mars 1877.)

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

STATUTS 1

SÉANCE DU 7 JANVIER 1876 5

Appareils pour la projection des corps placés horizontalement; par M. *J. Duboscq* 6

Galvanomètre transparent à projection; par M. *J. Duboscq* 9

SÉANCE DU 21 JANVIER 1876 10

Méthode d'essai du pouvoir éclairant et de la bonne épuration du gaz à Paris; par M. *F. Le Blanc* 11

Description d'un loch à cadran indiquant à tout instant la vitesse d'un navire; par M. *Marey* 17

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1876 21

Sur l'isochronisme des spiraux de chronomètres; par M. *E. Caspari* .. 22

Action du magnétisme sur le spectre des gaz raréfiés illuminés par une décharge d'induction; par M. *J. Chautard* 26

Quelques mots sur les raies de la chlorophylle et leurs applications; par M. *J. Chautard* 31

Nouveau manomètre destiné à mesurer les hautes pressions; par M. *L. Cailletet* 37

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1876 39

Sur les lois du mouvement vibratoire des diapasons; par M. *A. Mercadier* 41

SÉANCE DU 3 MARS 1876 53

De la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés; par M. *Jannettaz* 53

SÉANCE DU 7 MARS 1876 56

Sur la composition optique de mouvements vibratoires rectangulaires de période et de phase quelconques; par M. *E. Mercadier* 57

Sur une nouvelle application industrielle de la chaleur dite : Le moteur thermodynamique; par M. *F. Tommasi* 65

Digitized by Google

Pages.

SÉANCE DU 7 AVRIL 1876 69
Recherches sur la polarisation rotatoire magnétique; par M. *Henri Becquerel* 70
Solution analytique du problème de la distribution dans un aimant; par M. *J. Jamin* 82
Sur la théorie du contact d'épreuve; par M. *Bouty* 87

SÉANCE DU 21 AVRIL 1876 (Séance de Pâques) 90
De la température du Soleil; par M. *J. Violle* 92
Appareil pour démontrer les propriétés des courbes acoustiques; par M. *A. Terquem* 102
Mesures photométriques dans les différentes régions du spectre; par M. *H. Trannin* 107
Vernis destiné à faciliter l'écriture sur le verre; par M. *A. Terquem* 114

SÉANCE DU 5 MAI 1876 117
Sur les propriétés physiques du gallium; par M. *Lecoq de Boisbaudran* 117
Addition à la Note précédente; par le même 119
Connexion des axes des ellipses de conductibilité thermique et des coefficients d'élasticité de flexion dans le gypse; par M. *Ed. Jannettaz* 121

SÉANCE DU 19 MAI 1876 122
Polarisation électrique des minéraux; par M. le Cte *Th. du Moncel* 122
De la diffraction dans les instruments d'optique; son influence sur les observations astronomiques; par M. *Ch. André* 130

SÉANCE DU 2 JUIN 1876 147
Application des couches d'or très-minces au perfectionnement des cathétomètres et des autres instruments de mesure; par M. *Govi* 147
Sur la détermination de la température de solidification des liquides et en particulier du soufre; par M. *D. Gernez* 153
Nouvelle application des effets de la dilatation d'un liquide (lettre de M. *W. Grosseteste*) 165

SÉANCE DU 16 JUIN 1876 158
Électro-actinomètre différentiel; par M. *Egoroff* 158

SÉANCE DU 7 JUILLET 1876 161
Des circonstances dans lesquelles se produisent les deux variétés de soufre; par M. *D. Gernez* 162
Sur une propriété d'une surface d'eau électrisée et sur la polarisation des électrodes; par M. *G. Lippmann* 166

SÉANCE DU 21 JUILLET 1876 171
Magnétisme terrestre; par M. *Marié-Davy* 172

SÉANCE DU 17 NOVEMBRE 1876 175
De quelques recherches intéressantes sur le radiomètre de Crookes; par M. *G. Lippmann* 175
Nouvelle lampe électrique; par M. *Jabloschkoff* 182

Digitized by Google

Séance du 1er décembre 1876 184
Sur les phénomènes d'induction ; par M. *L. Mouton* 185
La persistance des impressions sur la rétine, expériences diverses exécutées à l'aide du phénakisticope de projection ; par M. *C.-M. Gariel.* 201
Séance du 15 décembre 1876 205
Sur le phénomène de la goutte noire et son influence sur l'observation du passage de Vénus ; par M. *Ch. André* 206
Liste des ouvrages reçus par la Société 209
Liste des instruments reçus 211
Table des Matières 222

3507 Paris. — Imprimerie de Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google